

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA,
METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA**

E. A. P. DE INGENIERÍA METALÚRGICA

**Tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos
con énfasis en el abatimiento de cobre con dolomita**

TESIS

para optar el título profesional de Ingeniero Metalurgista

AUTOR

Silvana Luzmila Flores Chávez

ASESOR

Daniel Florencio Lovera Dávila Msc.

Lima-Perú

2009

DEDICATORIA

Esta Tesis la dedico con mucho cariño y estima a mis queridos padres Washington y Felicita y mis hermanas, Janet y Nora por su apoyo desinteresado durante la ejecución de este documento tan importante para mi carrera profesional de Ingeniero Metalurgista.

AGRADECIMIENTOS

Mediante la presente Tesis agradezco al Vicerrectorado de Investigación por el apoyo que brindó a los estudiantes de Pregrado que deseaban obtener su título mediante la Modalidad de Ejecución de Tesis, a través del Concurso del Fondo de Tesis de Pregrado 2007, en el cual participé y fui beneficiaria directa de este Fondo que me permitió ejecutar mi Tesis.

Mi profundo agradecimiento a la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por permitirme ser beneficiaria del Fondo de Tesis de Pregrado 2007.

Al Ing. Luis Orihuela Salazar, Director de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por el apoyo brindado en el empleo de los ambientes de los diferentes laboratorios.

Al Ing. Angel Azañero por su apoyo brindado en el empleo de los ambientes de los diferentes laboratorios durante su gestión administrativa como Director en el período 2005-2006.

Al Ing. David Martínez Aguilar, Docente de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería, por la donación del Efluente Metalúrgico de Flotación de la Planta Concentradora de la UNI.

Al Ing. Pedro Hugo Tumialán, Docente de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por proporcionarme Información sobre Dolomita Natural de Tingo María.

Al Ing. Juan Rodríguez, por proporcionarme Información sobre Dolomita Natural de Tingo María

Al Ing. Belladone, por la donación de Mineral de Dolomita de Tingo María, para el estudio de la presente Tesis.

Al Ing. Daniel Lovera Dávila, por su asesoría y por su apoyo continuo en el diseño, ejecución de pruebas experimentales y redacción de la Tesis

Al Ing. Luis Puente, por su asesoría y por su apoyo continuo en el diseño, ejecución de pruebas experimentales de la Tesis.

Al Ing. Sixto Vidal Aramburu, por brindar las facilidades para el uso del Laboratorio de Pirometalurgia que permitió la ejecución de pruebas experimentales de la Tesis.

Al Ing. Jorge Diego Carbajal, por su apoyo continuo en el empleo de los ambientes de laboratorio químico requeridos para la ejecución de pruebas experimentales de la Tesis.

A la Ing. Rosa Medina Sandoval, docente de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, por su apoyo continuo en la caracterización de las muestras de dolomita empleadas en la Tesis por la Técnica de Microscopía Electrónica de Barrido.

Al Mg. Justiniano Quispe Marcatoma, Docente de la Escuela Académico Profesional de Ciencias Físicas, por su apoyo continuo en la caracterización de las muestras de dolomita empleadas en la Tesis por la Técnica de Difracción de Rayos X.

Al Lic., Pedro Saavedra por la tolerancia en el préstamo de libros y Tesis empleados como Material Bibliográfico en la Tesis.

INDICE

RESUMEN		1
NOMENCLATURA		5
CAPITULO I:	INTRODUCCIÓN	6
CAPITULO II:	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
	2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.	8
	2.2. ESTADO DEL PROBLEMA.	8
	2.3. FORMULACION DEL PROBLEMA	11
	2.4. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.	11
	2.5. JUSTIFICACIÓN.	12
	2.6. OBJETIVOS.	16
	2.6.1. OBJETIVO GENERAL.	16
	2.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	16
	2.7. HIPÓTESIS	18
	2.7.1. HIPÓTESIS GENERAL:	18
	2.7.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	18
CAPITULO III:	ESTUDIO DE LOS TRATAMIENTOS DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS DE FLOTACIÓN Y DE LIXIVIACIÓN	19
	3.1. ANTECEDENTES	19
	3.2. TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LOS EFLUENTES LÍQUIDOS DE LA INDUSTRIA MINERO-METALÚRGICA	20
CAPITULO IV:	LA MUESTRA: DOLOMITA	21
	4.1. GEOLOGIA DE LA DOLOMITA	21
	4.1.1 DOLOMITAS MARMOLIZADAS	21

4.1.2. LAS CALIZAS MACIZAS DE CRETÁCEO	21
4.2. YACIMIENTOS NO METÁLICOS DE DOLOMITA.	21
4.3. DOLOMITIZACIÓN.	22
4.4. YACIMIENTO DE TINGO MARIA.	22
4.5. GEOLOGÍA REGIONAL DE LA DOLOMITA UTILIZADA.	23
4.6. APLICACIONES DE LA DOLOMITA.	25
4.6.1. USOS COMUNES Y NUEVOS USOS DE LA CALIZA DOLOMÍTICA	25
4.6.2. PROPIEDADES SEPARADAS DE DOLOMITA	25
4.6.3. USOS DE LA DOLOMITA.	26
4.6.4. APLICACIONES DIRECTAS DE LA DOLOMITA.	26
4.6.5. PRODUCTOS QUIMICOS DE LA DOLOMITA	29
4.6.6. MÉTODOS PARA EL MONITOREO DE LA CALCINACIÓN DE LA DOLOMITA.	30
 CAPITULO V:	
MARCO CONCEPTUAL	32
5.1. FLOTACIÓN DE COBRE	32
5.2. EFLUENTES LÍQUIDOS DE FLOTACIÓN	33
5.3. CONTAMINACIÓN QUÍMICA DE LOS PROCESOS DE BENEFICIO METALÚRGICO	34
5.4. TECNOLOGÍA LÍMPIA Y TECNOLOGÍA DE Y LIMPIEZA.	36
5.5. REMEDIACIÓN	37
5.6. ADSORCIÓN	38
5.6.1.LA ADSORCIÓN COMO OPERACIÓN UNITARIA	38
5.7. ADSORBENTES	39
5.8. TRATAMIENTOS DE DESCONTAMINACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS	40
5.8.1. TRATAMIENTOS PRIMARIOS	40
5.8.2. TRATAMIENTOS SECUNDARIOS	40

	5.8.3. TRATAMIENTOS TERCARIOS.	40
CAPITULO VI:	TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE LOS EFLUENTES METALÚRGICOS CON ÉNFASIS EN EL ABATIMIENTO DE COBRE CON DOLOMITA	41
	6.1. FUNDAMENTO.	41
CAPITULO VII:	MARCO METODOLOGICO	44
	7.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	44
	7.1.1. METODOLOGÍA ADAPTATIVA Y METODOLOGÍA APLICATIVA.	44
CAPITULO VIII:	CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS	46
	8.1. CARACTERIZACIÓN INICIAL DE MUESTRAS DE MINERAL Y EFLUENTE METALÚRGICO	46
	8.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL MINERAL DE CALCOPIRITA.	46
	8.1.1.1. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL MINERAL DE CALCOPIRITA.	46
	8.1.2. CARACTERIZACIÓN DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS.	47
	8.1.2.1. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA INICIAL INICIAL DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS.	47
	8.1.3. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA INICIAL DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA EN ESTADO SIN CALCINAR.	48
	8.1.4. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA INICIAL DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI POR EL MÉTODO ICP TOTAL DISUELTOS.	49

8.15. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA INICIAL DE LODO DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X	50
8.16. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO.	51
8.1.6.1. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS SIN CALCINAR, MALLA -325.	51
8.1.6.1.2. RESPUESTA ESPECTRAL DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS SIN CALCINAR, MALLA -325.	51
8.1.7. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS.	53
8.1.7.1. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS SIN CALCINAR	53
8.1.8. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 1000°C.	54
8.1.9. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 1000°C.	56
8.1.10. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE LODO	57

	DE EFLUENTE METALÚRGICO TRATADO CON DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 1000°C.	
	8.1.11. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA	58
	8.1.11.1. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE DOLOMITA NATURAL.	58
	8.12. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA SIN CALCINAR.	59
	8.1.13. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA CALCINADA A 1000°C.	60
	8.1.13.1. RESPUESTA ESPECTRAL DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA EN ESTADO CALCINADO A 1000°C.	60
	8.1.14. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA CALCINADA A 1000°C	61
	8.1.15. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE EFLUENTE METALÚRGICO TRATADO CON DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA CALCINADA A 1000°C	62
CAPITULO IX:	PRUEBAS METALÚRGICAS EXPERIMENTALES	63
	9.1. EL DISEÑO EXPERIMENTAL	63
	9.1.1. EQUIPOS Y REACTIVOS.	63
	9.1.2. ACTIVIDADES DESARROLLADAS.	64
	9.1.2.1. ACTIVIDADES DE GABINETE.	64
	9.1.2.2. ACTIVIDADES EXPERIMENTALES.	65
	9.1.2.2.1. EN EL LABORATORIO DE	65

MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO	
9.1.2.2.2. EN EL LABORATORIO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X.	65
9.1.2.2.3. GENERACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO DE LIXIVIACIÓN, SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE.	66
9.1.2.2.3.1. EN EL LABORATORIO METALÚRGICO	66
9.1.2.2.3.2. EN EL LABORATORIO QUÍMICO.	66
9.1.2.2.4. EFLUENTE METALÚRGICO DE DE FLOTACIÓN DE MINERALES POLIMETÁLICOS	66
9.1.2.2.4.1. EN EL LABORATORIO METALÚRGICO	66
9.1.2.2.4.2. EN EL LABORATORIO QUÍMICO	67
9.1.3. PROCESAMIENTO METALÚRGICO DE MINERAL SULFURADO DE COBRE DE CALCOPIRITA PARA OBTENCIÓN DE SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE.	68
9.1.3.1. MOLIENDA- TOSTACIÓN- LIXIVIACIÓN DE CALCOPIRITA.	68
9.1.3.1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE MINERAL DE CALCOPIRITA MOLIDA DURANTE 16 MINUTOS.	70
9.1.3.2. TOSTACIÓN DE PELLETS DE CALCOPIRITA.	72
9.1.3.2.1. OBJETIVOS	72
9.1.3.2.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	72
9.1.3.2.3. CINÉTICA DE TOSTACIÓN DE PELLET DE MINERAL SULFURADO DE COBRE	73
9.1.3.3. LIXIVIACIÓN DE PELLETS TOSTADOS DE CALCOPIRITA	74
9.1.3.3.1. OBJETIVOS.	74

9.1.3.3.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.	74
9.1.3.3.3. PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN DE PELLETS TOSTADOS DE CALCOPIRITA.	75
9.1.4. PROCESAMIENTO METALÚRGICO DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA.	78
9.1.4.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE MINERAL DE DOLOMITA.	79
9.1.4.2. PRUEBAS METALÚRGICAS DE TOSTACIÓN DE PELLETS DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA, MALLA +325	81
9.1.5. PRUEBAS EXPERIMENTALES DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS DE FLOTACIÓN Y DE LIXIVIACIÓN	85
9.1.5.1. TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI TRATADO CON DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA EN ESTADO CALCINADO	85
9.1.5.1.1. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA	86
9.1.5.2. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS	94
9.1.5.3. EFLUENTE METALÚRGICO DE LIXIVIACIÓN, SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE TRATADO CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS	112
9.1.5.4. CONTRIBUCIÓN DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN, MODELO Y SIMULACIÓN DEL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS	118
9.1.5.4.1. INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS	118

9.1.5.4.1.1. CONTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE DOLOMITA CON LA CINÉTICA DE REMEDIACIÓN	118
9.1.5.4.1.2. SIMULACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO CON K DE REMEDIACIÓN	119
9.1.5.4.1.3. EFLUENTE METALURGICO DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI TRATADO CON DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARIA	120
9.1.5.4.1.3.1. CONTRIBUCION DE LA TEMPERATURA DE TOSTACIÓN DE DOLOMITA CON PARÁMETRO K DE REMEDIACIÓN:	121
9.1.5.4.1.3.2. SIMULACION DE LA CONTRIBUCION DE LA TEMPERATURA EVALUANDO LA CONSTANTE K DE REMEDIACIÓN	121
9.1.5.4.1.4. EFLUENTE DE LIXIVIACIÓN DE SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE TRATADO CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS.	122
9.1.5.4.1.4.1. CONTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL Cu^{+2} CON LA CINÉTICA DE REMEDIACIÓN	123
9.1.5.4.1.4.2. SIMULACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE Cu^{+2} CON K DE REMEDIACIÓN	123
9.1.5.4.1.5. CONTRIBUCIÓN DE LA RELACIÓN S/L CON LA CINÉTICA DE REMEDIACIÓN	124
9.1.5.4.1.5.1. SIMULACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DE LA RELACIÓN S/L CON LA CINÉTICA DE REMEDIACIÓN	125

	9.1.5.4.1.6. SIMULACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DE LOS RPM CON LA CINÉTICA DE REMEDIACIÓN	126
	9.1.5.4.1.7. ECUACIÓN GENERAL DEL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS	128
	9.1.5.5. DIAGRAMAS DE SIMULACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS CON DOLOMITA	129
CAPITULO X:	DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS	134
	10.1. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE EN EL SISTEMA	134
	10.2. DIAGRAMAS DE SIMULACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN QUE INFLUYEN EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS CON DOLOMITA	140
CAPITULO XI:	CONCLUSIONES	143
CAPITULO XII:	RECOMENDACIONES	150
CAPITULO XIII:	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	151
CAPITULO XIV:	ANEXOS	
	ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA	
	ANEXO 2: ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRAS DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA Y ANÁLISIS QUÍMICO INICIAL DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE LA	

**PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI Y
TRATADO CON DOLOMITA NATURAL DE TINGO
MARÍA Y DOLOMITA COMERCIAL DE
AGREGADOS CALCÁREOS**

**ANEXO 3: INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE
EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE
PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI.**

**ANEXO 4: FOTOS DE PLANTA CONCENTRADORA
DE FLOTACIÓN DE LA UNI**

**ANEXO 5: FOTOS DE TESIS DE TRATAMIENTO
DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES
METALÚRGICOS CON ÉNFASIS EN EL
ABATIMIENTO DE COBRE CON DOLOMITA**

LISTA DE TABLAS

TABLA Nº 1:	CANTIDAD DE MAGNESIO ELIMINADO DEL SUELO PARA PRODUCIR VARIOS CULTIVOS, CAMPO POR ACRE.	27
TABLA Nº 2:	ANÁLISIS ORIGINAL DEL MATERIAL (% PESO)	29
TABLA Nº 3:	LEYES DE CABEZA DE CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL MINERAL DE CALCOPIRITA.	46
TABLA Nº 4:	ANÁLISIS QUÍMICO TÍPICO DE CARACTERIZACIÓN QUÍMICA INICIAL DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS.	47
TABLA Nº 5:	ANÁLISIS QUÍMICO DE ELEMENTOS POR DIFRACCIÓN DIFRACCIÓN DE RAYOS X POR CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS SIN CALCINAR.	52
TABLA Nº 6:	ANÁLISIS QUÍMICO DE COMPUESTOS POR DIFRACCIÓN DIFRACCIÓN DE RAYOS X POR CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS SIN CALCINAR.	52
TABLA Nº 7:	ANÁLISIS QUÍMICO DE ELEMENTOS POR DIFRACCIÓN DIFRACCIÓN DE RAYOS X POR CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 1000°C.	55
TABLA Nº 8:	ANÁLISIS QUÍMICO DE COMPUESTOS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X POR CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA	55

**POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE
DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS
CALCINADA A 1000°C**

TABLA Nº 9:	ANÁLISIS QUÍMICO DE ELEMENTOS POR DIFRACCIÓN DIFRACCIÓN DE RAYOS X POR CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA SIN CALCINAR	58
TABLA Nº 10:	ANÁLISIS QUÍMICO DE ELEMENTOS POR DIFRACCIÓN DIFRACCIÓN DE RAYOS X POR CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA CALCINADA A 1000°C	60
TABLA Nº 11:	ANÁLISIS QUÍMICO DE COMPUESTOS POR DIFRACCIÓN DIFRACCIÓN DE RAYOS X POR CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA CALCINADA A 1000°C.	60
TABLA Nº 12:	SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE DE CONCENTRACIÓN DE COBRE DE 1.28 g/L PROVENIENTE DE LA LIXIVIACIÓN ÁCIDA DE PELLETS TOSTADOS DE CALCOPIRITA A 650°C	76
TABLA Nº 13:	SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE DE CONCENTRACIÓN DE COBRE DE 3.6 g/L PROVENIENTE DE LA LIXIVIACIÓN ÁCIDA DE PELLETS TOSTADOS DE CALCOPIRITA A 650°C	76

LISTA DE FIGURAS

FIGURA N° 1:	VISTAS DE LA DOLOMITA DEL MACIZO DE CAYUMBA, ORIGINALMENTE CUBIERTAS POR LÍQUENES Y MUSGOS	24
FIGURA N° 2:	USOS DE LA DOLOMITA	27
FIGURA N° 3:	SEPARACIÓN DEL $MgCO_3$ y $CaCO_3$ DE DOLOMITA Y CALIZA DOLOMÍTICA: CUADRO DE FLUJO DE MATERIAL PARA UNA OPERACIÓN TÍPICA BATCH DE 10 KG BAJO CONDICIONES ÓPTIMAS.	28
FIGURA N° 4:	CARACTERIZACIÓN DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X RAYOS X DE LODO DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN.	50
FIGURA N° 5:	MUESTRA DE DOLOMITA COMERCIAL EN ESTADO ESTADO NATURAL SIN CALCINAR CARACTERIZADA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO.	51
FIGURA N° 6:	DIFRACTOGRAMA DE LA RESPUESTA ESPECTRAL ESPECTRAL DE LA CARACTERIZACIÓN DE DOLOMITA COMERCIAL EN ESTADO SIN CALCINAR	51
FIGURA N° 7:	DIFRACTOGRAMA DE LA RESPUESTA ESPECTRAL DE LA CARACTERIZACIÓN DE DOLOMITA COMERCIAL EN ESTADO SIN CALCINAR POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X.	53
FIGURA N° 8:	CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO	54

**DE MUESTRA DE DOLOMITA COMERCIAL
CALCINADA A 1000°C.**

FIGURA N° 9:	DIFRACTOGRAMA DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE MUESTRA DE DOLOMITA COMERCIAL EN ESTADO CALCINADO A 1000°C POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X	54
FIGURA N° 10:	DIFRACTOGRAMA DE MUESTRA DE DOLOMITA COMERCIAL CALCINADA A 1000°C POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X	56
FIGURA N° 11:	DIFRACTOGRAMA DE MUESTRA DE LODO DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN TRATADO CON DOLOMITA COMERCIAL CALCINADA A 1000°C POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X	57
FIGURA N° 12:	CARACTERIZACIÓN DE MUESTRA DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA EN ESTADO SIN CALCINAR POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO	58
FIGURA N° 13:	DIFRACTOGRAMA DE MUESTRA DE DOLOMITA DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA EN ESTADO SIN CALCINAR POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO.	58
FIGURA N° 14:	DIFRACTOGRAMA DE MUESTRA DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA EN ESTADO SIN CALCINAR POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X	59
FIGURA N° 15:	CARACTERIZACIÓN DE MUESTRA DE DOLOMITA	60

**NATURAL DE TINGO MARÍA EN ESTADO
CALCINADO A 1000°C POR MICROSCOPIA
ELECTRÓNICA DE BARRIDO**

FIGURA N° 16:	DIFRACTOGRAMA DE MUESTRA DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA EN ESTADO CALCINADO A 1000°C POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO	60
FIGURA N° 17:	DIFRACTOGRAMA DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA CALCINADA A 1000°C POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X.	61
FIGURA N° 18:	DIFRACTOGRAMA DE LODO DE EFLUENTE METALÚRGICO TRATADO CON DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA CALCINADA A 1000°C POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X	62
FIGURA N° 19:	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE GENERACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO DE LIXIVIACIÓN DE MINERAL TOSTADO DE CALCOPIRITA, SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE	69
FIGURA N° 20:	CURVA DE ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE MINERAL DE CALCOPIRITA MOLIDA DURANTE 16 MINUTOS, ABERTURA Vs % Ac(+)	70
FIGURA N° 21:	CURVA DE ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE MINERAL DE CALCOPIRITA MOLIDA DURANTE 16 MINUTOS, ABERTURA VS. % Ac(-)	71
FIGURA N° 22:	CURVA DE ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE MINERAL DE CALCOPIRITA MOLIDA DURANTE	71

16 MINUTOS, ABERTURA VS. %Ac(+)y % Ac(-).

FIGURA N° 23:	CINÉTICA DE TOSTACIÓN DE PELLET DE MINERAL SULFURADO DE COBRE TOSTADO A 650°C.	73
FIGURA N° 24:	CINÉTICA DE LIXIVIACIÓN DE PELLETS DE CALCOPIRITA TOSTADOS A 650°C	75
FIGURA N° 25:	CINÉTICA DE LIXIVIACIÓN DE PELLETS DE CALCOPIRITA TOSTADOS A 650°C	76
FIGURA N° 26:	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESAMIENTO METALÚRGICO: PREPARACIÓN MECÁNICA Y TOSTACIÓN DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA.	78
FIGURA N° 27:	CURVA DE ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE MINERAL DE DOLOMITA MOLIDO DURANTE 30 MINUTOS, ABERTURA Vs. %Ac(-)	79
FIGURA N° 28:	CURVA DE ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE MINERAL DE DOLOMITA MOLIDO DURANTE 30 MINUTOS, ABERTURA Vs. %Ac(+).	80
FIGURA N° 29:	CURVA DE ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE MINERAL DE DOLOMITA MOLIDO DURANTE 30 MINUTOS, ABERTURA Vs. %Ac(-), %Ac(+)	80
FIGURA N° 30:	CINÉTICA DE TOSTACIÓN DE PELLETS DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA, MALLA: +325	81
FIGURA N° 31:	CINÉTICA DE TOSTACIÓN DE PELLETS DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA, MALLA: +325	82

FIGURA N° 32:	CINÉTICA DE TOSTACIÓN DE PELLETS DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA, MALLA: +325	83
FIGURA N° 33:	CINÉTICA DE TOSTACIÓN DE PELLETS DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA, MALLA: +325	83
FIGURA N° 34:	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCEDENCIA DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI	84
FIGURA N° 35:	DIAGRAMA DE FLUJO DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI TRATADO CON DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA	85
FIGURA N° 36:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA A 800°C	86
FIGURA N° 37:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE	87
FIGURA N° 38:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA A 900°C	88
FIGURA N° 39:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA A 900°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE	89

FIGURA N° 40:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA A 1000°C	90
FIGURA N° 41:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA A 1000°C PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE	91
FIGURA N° 42:	DIAGRAMA DE FLUJO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI CON DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS EN ESTADO SIN CALCINAR	92
FIGURA N° 43:	DIAGRAMA DE FLUJO DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI CON DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS EN ESTADO CALCINADO.	93
FIGURA N° 44:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS SIN CALCINAR	94
FIGURA N° 45:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS SIN CALCINAR, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE	95
FIGURA N° 46:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 500°C	96

FIGURA N° 47:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 500°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE.	97
FIGURA N° 48:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C	98
FIGURA N° 49:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE	99
FIGURA N° 50:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C	100
FIGURA N° 51:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE	101
FIGURA N° 52:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C	102
FIGURA N° 53:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE	103

FIGURA N° 54:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 800°C.	104
FIGURA N° 55:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 800°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE	105
FIGURA N° 56:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 800°C	106
FIGURA N° 57:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 800°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE	107
FIGURA N° 58:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 900°C	108
FIGURA N° 59:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 900°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE	109
FIGURA N° 60:	DIAGRAMA DE FLUJO DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS DE LIXIVIACIÓN ÁCIDA DE PELLETS TOSTADOS DE CALCOPIRITA CON DOLOMITA COMERCIAL	110

EN ESTADO SIN CALCINAR

FIGURA N° 61:	DIAGRAMA DE FLUJO DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS DE LIXIVIACIÓN ÁCIDA DE PELLETS TOSTADOS CALCOPIRITA CON DOLOMITA COMERCIAL EN ESTADO CALCINADO	111
FIGURA N° 62:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C	112
FIGURA N° 63:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE	113
FIGURA N° 64:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C	114
FIGURA N° 65:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE	115
FIGURA N° 66:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 1050°C	116
FIGURA N° 67:	CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 1050°C	117

FIGURA N° 68:	DIAGRAMA DE LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE DOLOMITA QUE INTERVIENE EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE COBRE CON DOLOMITA	119
FIGURA N° 69:	CURVA DE PARÁMETROS K DE LA CINÉTICAS DE ADSORCIÓN DEL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN	120
FIGURA N° 70 :	DIAGRAMA DE LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE DE TEMPERATURA EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE COBRE CON DOLOMITA	122
FIGURA N° 71:	DIAGRAMA DE LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE DE LA CONCENTRACIÓN DE COBRE EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE COBRE CON DOLOMITA	124
FIGURA N° 72:	DIAGRAMA DE LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE DE LA RELACIÓN SÓLIDO/LÍQUIDO, (S/L) EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE COBRE CON DOLOMITA	125
FIGURA N° 73:	DIAGRAMA DE LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE DE LA VELOCIDAD DE AGITACIÓN DE LA MEZCLA A TRATAR (RPM) EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE COBRE CON DOLOMITA	127
FIGURA N° 74:	DIAGRAMA DE SIMULACIÓN DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS CON DOLOMITA, TENIENDO EN CUENTA LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE DE OPERACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA	129

FIGURA N° 75:	DIAGRAMA DE SIMULACIÓN DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS CON DOLOMITA, TENIENDO EN CUENTA LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE DE OPERACIÓN A LA TEMPERATURA DE TOSTACIÓN DE LA DOLOMITA	130
FIGURA N° 76:	DIAGRAMA DE SIMULACIÓN DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS CON DOLOMITA, TENIENDO EN CUENTA LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE DE OPERACIÓN A LA CONCENTRACIÓN DE COBRE PRESENTE EN EL EFLUENTE METALÚRGICO	131
FIGURA N° 77:	DIAGRAMA DE SIMULACIÓN DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS CON DOLOMITA, TENIENDO EN CUENTA LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE DE OPERACIÓN DE LA RELACIÓN SÓLIDO/LÍQUIDO	132
FIGURA N° 78 :	DIAGRAMA DE SIMULACIÓN DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS CON DOLOMITA, TENIENDO EN CUENTA LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE DE OPERACIÓN DE LAS RPM (VELOCIDAD DE AGITACIÓN DE LA MEZCLA)	133
FIGURA N° 79:	CURVAS DE COMPARACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS DE FLOTACIÓN TRATADOS CON 2 gr. DOLOMITA NATURAL CALCINADA A 800C, 900°C Y 1000°C.	135

RESUMEN

La tesis denominada "Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos con énfasis en el abatimiento de Cobre con Dolomita", muestra el proceso de Tecnología de Limpieza como una alternativa de solución en la remediación de efluentes metalúrgicos con el empleo de la dolomita calcinada y sin calcinar, mediante Pruebas Metalúrgicas Experimentales se logro reducir las concentraciones del ión de cobre disuelto presente en los Efluentes provenientes del Proceso Metalúrgico de Flotación de la Planta Concentradora de la UNI, al cual se denominará **“EFLUENTE METALÚRGICO UNI”** y el Efluente Metalúrgico de la Solución de Sulfato de Cobre, que denominaremos **“EFLUENTE METALÚRGICO UNMSM”**, el cual fue generado a nivel Laboratorio por la Lixiviación del Mineral Tostado de Calcopirita. De este modo, la aplicación del Tratamiento de Remediación tuvo como objetivo lograr que ambos efluentes metalúrgicos tratados con dolomita presenten altos porcentajes de reducción con mínimas concentraciones de cobre, los cuales son indicadores de una mejora en el Proceso de Tratamiento de Efluentes Metalúrgicos provenientes principalmente de procesos metalúrgicos de plantas concentradoras.

En la presente Tesis, se empleo el mineral de la dolomita, el cual es un mineral no metálico de carbonato doble de calcio y magnesio ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), que se comporta como un efectivo reactivo de remediación, debido a las propiedades fisicoquímicas siendo una de ellas la neutralización de los metales pesados donde se verifica que, es mas eficiente que, la cal para neutralizar la capacidad de generación de acidez que poseen los metales pesados.

Los resultados la presente Tesis nos permite afirmar que el peso óptimo de la Dolomita Comercial de Agregados Calcáreos es de 2 g. en estado sin calcinar donde se determino que para un volumen de efluente metalúrgico de flotación de 100ml, la concentración inicial de 0,269 g/L (269 ppm) se redujo hasta el valor de 0,007 g/L (7 ppm), con un porcentaje de reducción de 97.39%, en un tiempo óptimo de 20 minutos.

Cabe resaltar que la dilución S/L es de 2/100 y se aplicó una velocidad de agitación de la mezcla (dolomita y efluente metalúrgico) de 700 RPM.

Por otra parte, se afirma que el peso óptimo de la dolomita Natural de Tingo María es de 2 g. en estado calcinado a 1000°C donde se determinó que para un volumen de efluente metalúrgico de flotación de 100ml, la concentración inicial de 0,561 g/L (561 ppm) se redujo hasta el valor de 0,031 gr/L (31 ppm), con un porcentaje de reducción de 94,5%, en un tiempo óptimo de 10 minutos, cabe resaltar que la dilución S/L es de 2/100 y una velocidad de agitación de la mezcla (dolomita y efluente metalúrgico) de 525 RPM.

En el Caso de Efluente Metalúrgico de Solución de Sulfato de Cobre con Concentración Inicial de cobre de 1.28 g/L, y una Concentración diluida de solución de sulfato de 1 gr/L de cobre, se afirma que el peso óptimo de la Dolomita Comercial de Agregados Calcáreos es de 2 g. en estado calcinado a la temperatura de 700°C, donde se determinó que para un volumen de efluente metalúrgico de solución de sulfato de cobre de 100ml, la concentración inicial es de 1,185 g/L (1185 ppm) se redujo hasta el valor de 0,061 g/L (61 ppm), con un porcentaje de reducción de 94.85%, en un tiempo óptimo de 30 minutos. Cabe resaltar que la dilución S/L es de 2/100 y una velocidad de agitación de la mezcla (dolomita y efluente metalúrgico) y se aplicó una velocidad de agitación de la mezcla (dolomita y efluente metalúrgico) de 700 RPM.

En el Caso de Efluente Metalúrgico de Solución de Sulfato de Cobre con Concentración Inicial de cobre de 1.28 g/L, y una Concentración diluida de solución de sulfato de 0.5 g/L de cobre, se afirma que el peso óptimo de la Dolomita Comercial de Agregados Calcáreos es de 2 g. en estado calcinado a la temperatura de 700°C, donde se determinó que para un volumen de efluente metalúrgico de solución de sulfato de cobre de 100ml, la concentración inicial es de 0,521 g/Lt (521 ppm) se redujo hasta el valor de 0,026 g/L (26 ppm), con un porcentaje de reducción de 95%, en un tiempo óptimo de 20 minutos. Cabe resaltar que la dilución S/L es de 2/100 y una velocidad de agitación de la mezcla (dolomita y efluente metalúrgico) y se aplicó una velocidad de agitación de la mezcla (dolomita y efluente metalúrgico) de 700 RPM.

En el Caso de Efluente Metalúrgico de Solución de Sulfato de Cobre con concentración inicial de cobre es de 3.6 g/L, y una concentración diluída de solución de sulfato de cobre de 1 g/L, se afirma que el peso óptimo de la Dolomita Comercial de Agregados Calcáreos es de 2 g. en estado calcinado a la temperatura de 1000°C, donde se determino que para un volumen de efluente metalúrgico de solución de sulfato de cobre de 100ml, la concentración inicial es de 1,400 g/L (1400 ppm) se redujo hasta el valor de 0,672 g/L (672 ppm), con un porcentaje de reducción de 52%, en un tiempo óptimo de 30 minutos. Cabe resaltar que la dilución S/L es de 2/100 y una velocidad de agitación de la mezcla (dolomita y efluente metalúrgico) y se aplicó una velocidad de agitación de la mezcla (dolomita y efluente metalúrgico) de 700 RPM.

En el Caso de Efluente Metalúrgico de Solución de Sulfato de Cobre con concentración inicial de cobre es de 3.6 g/Lt, y una concentración diluída de solución de sulfato de cobre de 0.5 g/Lt, se afirma que el peso óptimo de la Dolomita Comercial de Agregados Calcáreos es de 2 g. en estado calcinado a la temperatura de 1000°C donde se determinó que para un volumen de efluente metalúrgico de solución de sulfato de cobre de 100ml, la concentración inicial es de 0,813 g/Lt (813 ppm) se redujo hasta el valor de 0,216 g/Lt (216 ppm), con un porcentaje de reducción de 73.43%, en un tiempo óptimo de 30 minutos. Se empleo una dilución S/L de 2/100 y se aplicó una velocidad de agitación de la mezcla (dolomita y efluente metalúrgico) de 700 RPM.

Asimismo, en la presente Tesis se estudiaron la influencia de la contribución de las variables de operación que intervienen en el Proceso de Remediación de Efluentes Metalúrgicos de Flotación y de Lixiviación, entre las que se estudiaron destacan: Concentración de Cobre en la Solución, Tamaño de partícula, Temperatura de Tostación de la Dolomita, Relación Sólido-Líquido, Velocidad de Agitación (RPM) y el Tiempo de Agitación de la Mezcla.

Una forma de Sistematizar la influencia de cada una de las variables que intervienen en el Tratamiento de Remediación es a través de una Ecuación

General que represente un Modelo Matemático, el cual será:

Ecuación General: $\ln \alpha = K t$,

$$K = [K_{(\text{Tamaño de Partícula})} * K_T * K_{(\text{Cu}^{+2})} * K_{(\text{S/L})} * K_{(\text{RPM})}]$$

$$\ln \alpha = 19.53358078 * (d)^{-3,4465} * (\text{RPM})^{-1,0116} * (\text{S/L})^{-1,7549} * (\text{Cu}^{+2})^{-3,7345} * \\ [8.154997255 - (\frac{12178,28697}{T+273.1})] * t$$

NOMENCLATURA

T	Tiempo
μ	Micrones
%	Porcentaje
S/L	Relación Sólido-Líquido
ppm	Partes por millón
g/L	gramos por litro
RPM	Revoluciones Por Minuto
°C	Grados Centígrados.
mg/l	Miligramos por litros
α	Fracción Reaccionante de Tratamiento de Remediación.
K_T	Constante de Remediación Total.
$K_{[Cu+2]}$	Constante de Remediación de Cobre.
K_{RPM}	Constante de Remediación de Revoluciones por Minuto.
$K_{\text{Tamaño}}$	Constante de Remediación de Tamaño de partícula.
$K_{S/L}$	Constante de Remediación de Relación Sólido-Líquido

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Los Tratamientos de Descontaminación y Remediación aplicados a los Efluentes Metalúrgicos están basados en procesos activos que son de naturaleza química, donde el costo lo asume la empresa generadora de este tipo de impacto en el medio ambiente. Es por ello, que se hace necesario buscar una alternativa al Tratamiento de la acidez de efluentes metalúrgicos provenientes de Tratamientos de Flotación de Minerales Polimetálicos Sulfurados y Efluentes de Soluciones de Sulfato de Cobre provenientes de Tratamientos Hidrometalúrgicos de la Industria del Cobre, tanto si las instalaciones se encuentran en operación ó en abandono, mediante sistemas de bajo costo y de fácil operación y mantenimiento.

En ese sentido, se presenta un trabajo de investigación denominado “Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos con énfasis en el abatimiento de Cobre con Dolomita “, el cual busca principalmente ser considerado como una alternativa de solución al igual que los Tratamientos de Remediación de Efluentes Metalúrgicos que existen en la actualidad, que tienen como finalidad reducir la concentración de metales pesados, en este caso, principalmente la concentración de ión disuelto de cobre proviente de Procesos Metalúrgicos de la Flotación de Minerales y de la Hidrometalurgia.

En la presente Tesis, se busca que el Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos con énfasis en el abatimiento de Cobre con Dolomita, se consideren las variables de operación que intervienen en el proceso de remediación que reduzca la concentración del ión cobre presente tanto en los Efluentes Metalúrgicos de Flotación provenientes de la Planta Concentradora de la UNI y el Efluente Metalúrgico de Sulfato de Cobre generado a nivel laboratorio en la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la UNMSM, el cual proviene de una serie de Operaciones Unitarias tales como: chancado, y molienda de calcopirita, y Procesos Metalúrgicos de Tostación de Pellets de Calcopirita a las Temperaturas de 650°C con la finalidad de lograr la mayor

concentración de óxido de cobre y el Proceso de la Lixiviación Ácida de Pellets Tostados de Calcopirita, los cuales fueron la materia prima para la generación de solución de sulfato, obteniéndose diferentes concentraciones de ión cobre.

Las Variables de Operación que intervienen en el Tratamiento de Remediación, son: Tamaño de Partícula de Dolomita, Temperatura de Tostación de la Dolomita, Concentración de Ión Cobre, Relación Sólido/Líquido, RPM y Tiempo de agitación de la mezcla.

Una forma de Sistematizar la influencia de cada una de las variables que intervienen en el Tratamiento de Remediación es a través de una Ecuación General que represente un Modelo Matemático, el cual será:

Ecuación General:

$$\ln \alpha = K t$$

$$K = [K_{(\text{Tamaño de Partícula})} * K_T * K_{(\text{Cu}+2)} * K_{(\text{S/L})} * K_{(\text{RPM})}]$$

CAPITULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

En la actualidad, en nuestro país existen muchos efluentes metalúrgicos provenientes de operaciones de beneficio metalúrgico del proceso de Flotación de Minerales Sulfurados de Cobre y de Lixiviación de minerales oxidados de cobre, que poseen concentraciones de cobre superiores al de los Niveles Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos para las Actividades Minero-Metalúrgicas según la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM, lo cual representa un problema, puesto que ello indica que los Tratamientos de Remediación de las plantas concentradoras Flotación y de Lixiviación de minerales de cobre empleados por las compañías mineras del Sector Minero Formal e Informal no son efectivos, puesto que estos efluentes con concentraciones de cobre superiores al de los límites máximos permisibles, son enviados a presas de relave, que una vez dispuesto el relave en la presa de relave se sedimenta y el efluente líquido filtra y se vierte de manera directa a ríos y lagunas, lo cual ya ocasiona una contaminación ambiental.

2.2. ESTADO DEL PROBLEMA.

Actualmente, ha existido un incesante aumento de la actividad minero artesanal en varias regiones del país. A los bolsones de mineros artesanales, plenamente identificados y que trabajan desde hace un buen tiempo¹ en zonas como las del Sur Medio (Ica y Arequipa), Madre de Dios, algunas provincias de Puno y La Libertad, se le han sumado otros grupos: en el norte del país se ha identificado una intensa actividad en el distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba, en la región Cajamarca y en Piura en los distritos de Paimas, Las Lomas, Suyo.

A la base de la expansión de esta actividad están por supuesto la falta de alternativas económicas para amplios sectores de la población que ven en esta actividad una alternativa de subsistencia y los años de sequía vividos en

algunas regiones que terminaron por afectar las actividades agrícolas tradicionales. Lo cierto es que el crecimiento explosivo, viene provocando conflictos entre mineros y agricultores en varias zonas, donde ya se han registrado enfrentamientos violentos. Los pobladores denuncian problemas de contaminación a las principales fuentes de agua, riesgo que se acrecienta en épocas de lluvias, el uso sin control de diversos insumos químicos que provocan graves impactos en el medio ambiente. A ello se le suma problemas sociales como el trabajo infantil, labores caracterizadas por el alto riesgo, hechos de violencia, entre otros aspectos.

Como ejemplo, de Minería Artesanal que trata minerales polimetálicos de cobre, se tiene a MOQUEGUA, que se caracteriza por la existencia de yacimientos de Polimetálicos de Cobre y Plata en los distritos de Pacocha e Ichuña, producto de dicha actividad minera se produce la contaminación de aguas de los ríos por sólidos en suspensión.

Como se sabe, al promulgarse a comienzos del año 2002, **la Ley N° 27651-“LEY DE FORMALIZACIÓN Y PROMOCIÓN DE LA PEQUEÑA MINERÍA Y MINERÍA ARTESANAL”**- *(y posteriormente su respectivo reglamento -D.S. 013-2002-E.M)* se ha creado el marco jurídico adecuado para el reconocimiento oficial de la Minería Artesanal e incluso las condiciones básicas para la integración de la Minería Artesanal en el sector de la economía formal

Cabe resaltar que la Ley N° 27651-“**LEY DE FORMALIZACIÓN Y PROMOCIÓN DE LA PEQUEÑA MINERÍA Y MINERÍA ARTESANAL**” y la Ley N° 27446 - “**LEY DEL SISTEMA NACIONAL DE IMPACTO AMBIENTAL**”, señalan desde el punto de vista del Medio Ambiente que para pequeños mineros y mineros artesanales solo serán exigibles la Declaración de Impacto Ambiental y Estudios de Impacto Ambiental Semi-detallados suscritos por un profesional competente. Asimismo, se menciona que ya sea a través de títulos o de contratos, se exiga de los mineros el cumplimiento de obligaciones para la vigencia de sus derechos, así como el cumplimiento permanente de compromisos ambientales para la vigencia de sus permisos de operación.

La Ley General del Ambiente, Art. VII del Título Preliminar de la Ley N° 28611, señala que el aspecto ambiental puede constituirse en un medio eficaz con la finalidad de prevenir los procesos de degradación ambiental, más aún si tomamos en cuenta el alto peligro de daño ambiental que esta actividad de beneficio metalúrgico provoca. Todo ello toma especial importancia debido a la vigencia del principio precautorio en materia ambiental en nuestro ordenamiento jurídico

En ese sentido, lo que busca la Tesis es contribuir con la aplicación de un Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgico para reducir metales pesados, principalmente ión metálico de cobre, y disminuir con el grado de contaminación que generan las actividades minero-metalúrgicas de carácter artesanal, de tal modo que les permita emplear Tecnologías de Limpieza adecuadas para el tratamiento de sus efluentes metalúrgicos.

Esta tesis, propone el estudio de la remediación ambiental de los denominados efluentes metalúrgicos, cuyos vertimientos impactan negativamente de manera directa, principalmente la calidad de los cuerpos de agua.

Es en ese sentido, procedemos al tratamiento de remediación de los efluentes metalúrgicos generados durante los procesos de flotación y de lixiviación de minerales oxidados de pellets tostados de mineral sulfurado de cobre. Cabe resaltar que este tratamiento es considerado como una alternativa de solución a la generación de efluentes metalúrgicos por el empleo de la dolomita, el cual es un mineral no metálico de carbonato doble de calcio y magnesio ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), que se comporta como un efectivo reactivo de remediación, debido a las propiedades fisicoquímicas de la neutralización de la acidez de aguas ácidas, así como la adsorción de iones metálicos disueltos en los efluentes metalúrgicos.

Asimismo, en establecemos una metodología de trabajo que desarrolle una Tecnología de Limpieza a nivel de laboratorio con perspectivas a desarrollar tecnología de limpieza a nivel de planta piloto con el posterior desarrollo de una planta de tratamiento de remediación a nivel industrial, que

involucre las técnicas y los procedimientos experimentales necesarios para hacer posible el tratamiento de remediación de los efluentes metalúrgicos provenientes de la flotación y lixiviación, que comprenda la reducción de la concentración de los iones generadores de acidez, principalmente ión metálico disuelto de cobre.

2.3. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Influye la dolomita en la remediación de los efluentes metalurgicos procedentes de la flotacion y lixiviacion del cobre?

2.4. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.

El Planteamiento del Problema hace referencia a la aplicación de un método alternativo de tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos que logre reducir la concentración del ión cobre con el mayor porcentaje de reducción que permita su reuso industrial, es en ese sentido que se planteo las siguientes interrogantes:

PROBLEMA ESPECÍFICO 1:

¿El Empleo de la Dolomita, Influye en la Reducción de la Concentración del Ión de Cobre en Efluentes Metalúrgicos provenientes de Plantas de Flotación y Lixiviación?.

PROBLEMA ESPECÍFICO 2:

¿Cómo encontrar las Condiciones Apropriadas de empleo de Dolomita para remediar el Efluente Metalúrgico que logre reducir la concentración del Ión Metálico de Cobre a través de las Variables Independientes y Dependientes?

PROBLEMA ESPECÍFICO 3:

¿Cuál será la condición de empleo y la cantidad necesaria de dolomita para remediar un determinado volumen de efluente metalúrgico con énfasis en el abatimiento de cobre hasta lograr un mayor porcentaje de reducción, que permita obtener valores cercanos al de los niveles máximos permisibles para

efluentes líquidos para las actividades minero-metalúrgicas, que señala el ministerio de energía y minas a través de la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM?

2.5. JUSTIFICACIÓN.

La tesis denominada “TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS CON ÉNFASIS EN EL ABATIMIENTO DE COBRE CON DOLOMITA”, comprende temas de importancia de interés de carácter minero-metalúrgico ambiental, en los aspectos técnicos, legales, ético-social y económico.

2.5.1. ASPECTO TÉCNICO.

La Tesis denominada “ Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos con énfasis en el abatimiento de cobre con dolomita”, es un Tratamiento de Tecnología de Limpieza que busca es una alternativa de solución que constituya un eficaz Método de Remediación de Efluentes Metalúrgicos basado en el empleo de la dolomita sin calcinar y calcinada , que permita reducir las concentraciones del ión cobre presente en los Efluentes de Procesos Metalúrgicos hasta los niveles de los Niveles Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos para las Actividades Minero-Metalúrgicas, que establece el Ministerio de Energía y Minas a través de la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM, los cuales son indicadores de una mejora en el tratamiento de aguas residuales y por consiguiente en la calidad de los Efluentes Metalúrgicos, los cuales constituyen los denominados Desechos Industriales provenientes principalmente de Procesos Metalúrgicos de Plantas Concentradoras de la actividad minera formal e informal.

Cabe resaltar que este Método de Tratamiento de Remediación, se basa en el método de tratamiento con carbonatos, debido a que la dolomita, es un carbonato doble de calcio y magnesio ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), el cual en estado sin calcinar y calcinado tiene la facultad de neutralizar la acidez de los efluentes provenientes de procesos de flotación y lixiviación de minerales de cobre; a través de mecanismos que pueden estar relacionados con la presencia de especies químicas como hidróxilos, carbonatos y bicarbonatos que tienen la

capacidad para reaccionar con los hidrogeniones, reduciendo, por tanto, la acidez del medio. Siendo esta facultad de los carbonatos, un importante mecanismo de reducción de la concentración de hidrogeniones (H^+) en solución.

Asimismo, se puede afirmar que la dolomita tanto en estado sin calcinar como en estado calcinado posee la propiedad de adsorción de los metales pesados presentes en solución, es decir, permite disminuir la concentración inicial del efluente metalúrgico.

Por lo explicado anteriormente, se puede afirmar que el Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos con Énfasis en el Abatimiento de Cobre con Dolomita”, es de uso potencial, puesto que su uso implica la Neutralización de la acidez del efluente metalúrgico y asimismo, permite la adsorción de cobre, lo cual implica la reducción de la concentración inicial de cobre.

2.5.2. ASPECTO ÉTICO.

La conservación del medio ambiente en la minería en nuestro país hace 15 años, era solamente un tema netamente teórico que en la práctica no se cumplía. La contaminación de las aguas desde las plantas de procesamiento eran evidentes que no se reportaban ni controlaban por los medios que la generaban, de la misma forma sucedía con la generación de drenajes ácidos; de mina, de la presa de relaves y de los desmontes extraídos de las labores mineras y que estaban expuestos en los suelos, también el envío de los relaves mineros a los ríos o lagunas era una solución inmediata para cualquier planta concentradora que afrontaba problemas en la disposición de relaves, además no se consideraba la variedad de elementos y sustancias tóxicas que emanaban de ella y como consecuencia se comprobaron los impactos negativos generados en su entorno, como ejemplos tenemos: la desaparición de la flora y fauna, disminución de la calidad de vida humana, enfermedades, daños, perjuicios y otros puntos delicados al cual le compete.

Debido a esto la minería y metalurgia son consideradas como las industrias contaminantes, por la emisión de elementos nocivos a los tres medios geográficos: aires, aguas y suelos, causados por la diversidad de procesos químico-metalúrgicos que se desarrollan para la obtención de los productos de buena calidad (concentrados, metal fino, etc.). La calidad de los productos finales en cuanto a Leyes y Recuperación de los concentrados y otros, está ligado con el medio ambiente, mientras la calidad tiene un protagonista que es el Producto, el medio ambiente tiene otros protagonistas que son: la Contaminación y el residuo que en definitiva son subproductos. Por tanto en ambos casos se debe mantener una línea en la que podemos afirmar; si queremos obtener productos de calidad entonces debemos mantener nuestro medio ambiente sin contaminación y para ello adoptar la tecnología limpia que se requiere en cada proceso.

2.5.3. ASPECTO LEGAL

El crecimiento de la contaminación ambiental de la Minería, se instituyó en nuestro medio una entidad competente, Dirección de Asuntos Ambientales del Sub Sector de Minería del Ministerio de Energía y Minas, para dar solución al problema ambiental creado, asumiendo esta responsabilidad y después de realizar una investigación detallada, decreta, los Niveles Máximos Permisibles, (**NMP**), para los elementos contaminantes en las aguas, aires y suelos, generados en el entorno de la Industria Minera-Metalúrgica, con Registro Ministerial **Nº 011-96-EM/VNM** con fecha del 13 de Enero de 1996 (anexos 5.6.1) y que paralelamente se sujeta a la Ley General de Aguas, **Decreto Ley Nº 17752**, dirigido hacia el Ministerio de Agricultura y Ministerio de Energía y Minas, para que puedan ser controlados por sus respectivas entidades competentes.

Con estas exigencias toda empresa minera está obligada a cumplir con las leyes ambientales, por tal razón cada empresa minera debe llevar una Política Medioambiental el cual le permita tener programas de monitoreo, control y tratamiento de las emisiones que genera.

Para el respectivo control de cada unidad minera el Sub-Sector de Minera del MEM tiene registrado Empresas Auditoras Ambientales, que están autorizadas para realizar las auditorías ambientales en periodos programados y reportar el informe para su respectiva evaluación. En caso de no cumplir con estos dispositivos legales, el MEM, se encargará con la sanción necesaria y exigiéndoles alternativas de solución para un tiempo señalado y si el incumplimiento continúa, entonces la sanción será más drástica hasta un posible cierre de mina y operaciones.

Actualmente, existen las normas ISO 14000, las cuales permiten llevar un mejor control de prevención del medio ambiente, de modo que, es importante para una empresa obtener el Certificado del ISO 14001, que le otorgará mayores jerarquías para su organización ante este mundo globalizado.

2.6. OBJETIVOS.

2.6.1. OBJETIVO GENERAL.

- Demostrar que la Dolomita posee propiedades fisicoquímicas óptimas para el Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos con el Método que proponemos en esta investigación, principalmente para los Efluentes Metalúrgicos provenientes de la Flotación de Minerales Sulfurados de Cobre así como los Efluentes Metalúrgicos provenientes de la Lixiviación de Minerales Oxidados de Cobre.

2.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

OBJETIVO ESPECÍFICO 1:

- Establecer los parámetros de empleo de dolomita (estado calcinado y/o sin calcinar), para la reducción de la concentración del ión metálico de cobre, con pruebas experimentales del tratamiento de remediación de los efluentes metalúrgicos provenientes de la flotación y lixiviación de minerales sulfurados y oxidados de cobre, respectivamente.

OBJETIVO ESPECÍFICO 2:

Determinar a nivel de laboratorio, las condiciones óptimas de operación de las variables independientes tales como: Tamaño de Partícula, Temperatura de Tostación de la Dolomita, Concentración de Cobre Inicial de cobre, Relación Sólido-Líquido, Velocidad de Agitación de la Mezcla y Tiempo de Agitación de la dolomita con el Efluente Metalúrgico; las cuales intervienen durante las pruebas experimentales del tratamiento de remediación del efluente metalúrgico, con la finalidad de lograr la reducción de la concentración de ión metálico de cobre disuelto en los efluentes metalúrgicos para llevarlo hasta los valores cercanos al de los valores de los Niveles Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos para las Actividades Minero-Metalúrgicas.

OBJETIVO ESPECÍFICO 3:

Establecer el estado de empleo y la dosificación óptima de la cantidad necesaria de dolomita a emplear para lograr reducir la concentración de ión metálico de cobre hasta valores muy cercanos al de los Niveles Maximos Permisibles de Emisión para las Unidades Minero-Metalúrgicas (1 ppm) que exige el Ministerio de Energía y Minas según Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM.

2.7. HIPÓTESIS

2.7.1. HIPÓTESIS GENERAL:

La dolomita posee propiedades fisicoquímicas que remedian los efluentes metalúrgicos provenientes del proceso de flotación y lixiviación, aplicando un proceso técnico adecuado.

2.672. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:

HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1:

Los parámetros fisicoquímicos de la dolomita, influyen directamente en la reducción del ión cobre de los efluentes metalúrgicos, provenientes del tratamiento metalúrgico de flotación y lixiviación.

HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2:

Las condiciones óptimas de empleo de la dolomita para remediar el efluente metalúrgico que logre reducir la concentración del ión metálico de cobre se logra a través del establecimiento de las principales variables Independientes y dependientes que Influyen de manera directa el Tratamiento de Remediación de los Efluentes Metalúrgicos provenientes de los Tratamientos Metalúrgicos de Flotación y Lixiviación.

HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3:

El empleo en una cantidad necesaria de dolomita a emplear para el Tratamiento de Remediación de los Efluentes Metalúrgicos provenientes de los Procesos de Flotación y Lixiviación, logra reducir la concentración de cobre (1ppm) en porcentajes de relevancia según la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VNM del Ministerio de Energía y Minas que decreta los Niveles Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos para las Actividades Minero-Metalúrgicas.

CAPITULO III

ESTUDIO DE LOS TRATAMIENTOS DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS DE FLOTACIÓN Y DE LIXIVIACIÓN

3.1. ANTECEDENTES

En el Perú, no existen antecedentes de Tratamientos de Remediación de Efluentes Metalúrgicos con presencia de iones de metales pesados de cobre, basado en el empleo de la dolomita. Es por ello, que se pretende investigar la aplicación de un nuevo método de remediación de efluentes metalúrgicos basado en el empleo de la dolomita calcinada y sin calcinar; con la finalidad de abatir el cobre presente en los efluentes metalúrgicos provenientes de procesos metalúrgicos de flotación y de lixiviación, cuyos vertimientos sin tratamiento previo, afectan de manera directa a cuerpos de agua originando la contaminación del agua de los ríos.

En razón a esta forma de contaminación, se formula los siguientes métodos de tratamiento de acidez de Efluentes Metalúrgicos, los cuales se clasifican en:

MÉTODOS ACTIVOS¹⁴, que precisan de una operación continuada, como sucede en una planta química de tratamiento de aguas ácidas. El tratamiento de aguas de mina utilizando métodos químicos mediante la adición de sustancias alcalinas, tiene un coste elevado sobre todo cuando se trata de grandes volúmenes. Además requiere un control y mantenimiento de las instalaciones de aireación y mezclado, así como de un almacenamiento adecuado de los lodos con carga metálica.

Se puede afirmar que la mayoría de Sistemas de Tratamiento Activo para la generación de acidez están basados en la precipitación de hidróxidos, que se realiza en un proceso de tres pasos:

- Oxidación (para convertir Fe^{+2} en Fe^{+3}).
- Dosis con álcalis, especialmente $\text{Ca}(\text{OH})_2$, pero también con $\text{Na}(\text{OH})_2$, NaHCO_3 y otras sustancias.
- Sedimentación.

Es en ese sentido, que el objetivo principal de los métodos de tratamiento de las aguas ácidas, es la supresión de la acidez, la precipitación de los metales pesados y la eliminación de sustancias contaminantes como: sólidos en suspensión, arseniatos, antimoniatos y otros.

Se puede observar que muestran los métodos de tratamiento activo de efluentes metalúrgicos constituyen tecnologías técnicamente y económicamente factibles. Asimismo, cabe resaltar que con el desarrollo del proyecto de la tesis se daría solución a la reducción de la concentración de iones de cobre, que es un metal pesado generador de acidez, el cual está disuelto en los efluentes provenientes de operaciones y procesos metalúrgicos, puesto que la técnica de remediación de efluentes metalúrgicos con énfasis en el abatimiento de cobre y otros iones con dolomita, es eficaz y eficiente en cuanto a la solución de esta problemática ambiental generada por las propiedades fisicoquímicas que posee la dolomita, las cuales son neutralización de las aguas ácidas, adsorción de metal pesado en solución y sedimentación de metal pesado en suspensión.

3.2. TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LOS EFLUENTES LÍQUIDOS DE LA INDUSTRIA MINERO-METALÚRGICA^[11,12]

Cuando se quiere aplicar un método de tratamiento para las aguas industriales se tienen diferentes alternativas como la decantación, reducción, oxidación, neutralización, dilución, etc. Sin embargo; es necesario hacer un estudio profundo de la química y bacteriología para efectuar un bosquejo de los métodos generales que se pueden aplicar como la neutralización de ácidos y bases, rompimiento de emulsiones, destrucción bioquímica, extracción por medio de solventes, y otros.

CAPITULO IV

LA MUESTRA: DOLOMITA ^[10]

4.1. GEOLOGIA DE LA DOLOMITA

Se aprecian los siguientes tipos de yacimientos de dolomitas:

4.1.1. DOLOMITAS MARMOLIZADAS.

Llamadas también Premesozoicas, se presentan en varios lugares de la Cordillera de la Costa en el Departamento de Ica. Se les utiliza como piedra ornamental y se les podría aprovechar por su composición química. Las dolomitas en el Departamento de Ica, se encuentra el gran yacimiento de magnetita de Marcona.

4.1.2. LAS CALIZAS MACIZAS DE CRETÁCEO. Se presentan en los promontorios andinos y se utilizan junto con lutitas adyacentes y arenas para la fabricación del cemento.

4.2. YACIMIENTOS NO METÁLICOS DE DOLOMITA.

El reconocimiento de la dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) se hace con HCl, mientras que la calcita reacciona lentamente. Se raya con la cuchilla, cuya dureza es de 5.5, en la escala de Mohs.

Cerca de Casma en el morro de Chimbote como mantos de rumbo no y buzan al este constituido por intercalación de Estratos de Dolomita con Lutitas (Arcilla Compacta y pertenece al grupo Goyllarizquiza del Cretáceo Inferior.

- a) Planicie Costera.
- b) Cordillera Interandina.
 - b.1) Dolomitización.
 - b.2) Metalogenía.

4.3. DOLOMITIZACIÓN.

- 1) Sedimentación de Caliza Pucará en el fondo Marino en el Triásico Ternerio.
- 2) Sedimentación de arenisca Goyller (Kig) en el continente en el cretáceo inferior.
- 3) Erosión de Caliza Pucará (JP) y formación de conglomerados Shucco en el continente (Ti-Sh) en el Terciario Inferior.
- 4) Sedimentación de Cabeza Ca

Flujo Hidrotermal. Intrusivo de 200-300°C

(NaCl, KCl, $\text{So}_4\text{.Mg.nH}_2\text{O}$) + Iones de S^{--} , Zn^{++} , Pb^{++} , Ag ha reemplazado a la caliza formando mantas mineralizadas con dolomita como guía.

Huacrachuco → Huanuco Antiguo.

4.4. YACIMIENTO DE TINGO MARIA.

Manto porque es paralelo a los estratos y con la textura de ritmita, a este tipo de textura en el Perú se llama textura tipo Cebra (San Ignacio de Morococha). A nivel Mundial a este tipo de Yacimiento se le llama Mississippi Valley son mantos. Se formo por reemplazamiento de las calizas por solución hidrotermales (provenientes de salmueras con iones de Zn^{++} , Mg^{++}) que han reemplazado a la caliza para formar sulfuro de Zinc y dolomita CO_3CaMg . Bungira (falta literatura). San Martin dio nombre de Mississippi Valley es similar a San Vicente.

Tingo María. Existe compañía Dolomita Amazónica.

Tingo Maria se encuentra en la llanura de Selva.

Tenemos dos mares antiguos, un mar entre la cordillera de la costa del plano fisiográfico y la cordillera oriental 5 del plano fisiográfico tenía un ancho de 250 Km. y un largo de 2500 Km., este mar antiguo se llamo Geosinclinal Andino, la caliza Atocongo del cretáceo medio se forma cerca a la costa de este mar antiguo por eso la caliza no tiene buena ley y el cemento Atocongo es negativo y de esa caliza se elabora el cemento.

Al este de Atocongo llego un mar más profundo se depósito la caliza Pucará del Triásico Jurásico en Tarma (Cemento Andino) como es a mayor profundidad dio una caliza de mayor ley que da un cemento más cotizado (cemento blanco).

4.5. GEOLOGÍA REGIONAL DE LA DOLOMITA UTILIZADA

El yacimiento se encuentra comprendido entre la Cordillera Central y Oriental de la parte central del Perú. En el área de estudio, conforman unidades geomorfológicas con colinas subandinas disectadas por sistemas de fallamientos inversos que generaron “ ventanas geológicas” las cuales ponen en contacto al Grupo Pucará (Triásico-Jurásico), con formaciones mas recientes del Cretáceo Superior y Mioceno.

Según Megard F. el Grupo Pucará, en la región se divide en las formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga, cuyo grosor se estima en aproximadamente 2,000 metros.

En el área de Cayumba, el Grupo Pucará aflora longitudinalmente siguiendo el curso sensiblemente paralelo al cauce del Río Huallaga y es controlado por fallas normales de carácter longitudinal y de sobre escurrimiento que permite observar macizos dolomíticos y calcáreo, cuyas secuencias están constituidas por estratos con grosores mayores de un metro con intercalaciones delgadas de limo-arcillitas.

En esta área el núcleo del macizo calcáreo es una estructura regional y está constituido esencialmente por Dolomita, la que presenta una composición química mayor de 98% de $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Los valores de los análisis de ICP muestran contenido de sílice muy bajo ($< 0.5\%$) y otros elementos presentes en mínimo porcentaje ($< 1.0\%$); valores poco usuales, mas aún en los volúmenes existentes, razón por la cual la roca dolomítica es definida de “alta, a muy alta pureza” de acuerdo a la clasificación de “Mineralogy and Petrology Group, British Geological Survey”.

En el marco Metalogenético del Perú, el Proyecto de Dolomita Amazonas S.A., se ubica en la franja polimetálica Mesozoica de la cordillera subandina. Regionalmente entre los yacimientos de Zn. y Pb. de San Vicente y Bongará (Ver Figura N° 1)

VISTAS DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA



(1 a)



(1b)



(1 c)



(1d)

FIGURA N° 1: VISTAS DE LA DOLOMITA DEL MACIZO DE CAYUMBA, ORIGINALMENTE CUBIERTAS POR LÍQUENES Y MUSGOS

4.6. APLICACIONES DE LA DOLOMITA. ^[4]

4.6.1. USOS COMUNES Y NUEVOS USOS DE LA CALIZA DOLOMÍTICA

La dolomita, el doble carbonato de calcio y magnesio, es un componente en vez de una mezcla de calcita y magnesita.

La dolomita tiene una fórmula química de $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, con un peso molecular de 184.4 y una gravedad específica de 2.84 g/cm³.

Teóricamente, la dolomita pura contiene 45.7% de MgCO_3 y 54.3% CaCO_3 . Su dureza es 3.5-4 en la escala de Mohs y su sistema cristalino es romboédrico.

La caliza dolomítica tiene 30.4%CaO, 21.8%MgO, y 47.8%CO₂. Las impurezas tales como: sílice (SiO₂), arcillas, esquisto, feldespato, etc., son usualmente asociados con la caliza dolomítica.

4.6.2. PROPIEDADES SEPARADAS DE DOLOMITA.

En suma para ser del valor para muchos de los mismos propósitos como la caliza, la dolomita tiene propiedades que lo hacen de valor independiente. La dolomita ó caliza dolomítica puede ser calcinada a aproximadamente 1500°C en un alto horno ó un horno especial. Esto elimina el poco porcentaje de dióxido de carbono que puede quedar en la cal ordinaria, y produce un producto parcialmente sinterizado denominado Dolomita Tostada a Muerte (un nombre equivocado, cuando el material es actualmente cal-magnesia, CaO.MgO). Será resistente a altas temperaturas y es utilizado como un refractario en la línea de los hornos metalúrgicos.

La naturaleza refractaria de la dolomita es también indicada por otro producto, conocido como carbonato técnico ó carbonato básico de magnesio. Esto tiene una composición un poco variable, pero es aproximadamente 4 $\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Es un material granular, que es mezclado con aproximadamente 15% de fibras de asbestos para hacer un producto denominado 85% de magnesia. Esto es usado en la fabricación de formas moldeadas para el aislamiento de calor.

4.6.3. USOS DE LA DOLOMITA.

Los más importantes usos de la dolomita están en la manufactura de los refractarios de magnesita, cal de alto magnesio, cementos especiales, un flux para las aleaciones de hierro, y como una fuente para magnesio. En este reporte, los usos de dolomita son clasificados como sigue:

1. Aplicaciones Directas de la dolomita.
2. Usos de la dolomita selectivamente calcinada.
3. Químicos de la dolomita.

4.6.4. APLICACIONES DIRECTAS DE LA DOLOMITA.

Una discusión de las diferentes aplicaciones directas de la dolomita se muestra a continuación, (Ver Figura N° 2)

AGRICULTURA.

La dolomita puede ser usada como un neutralizante para la acidez del suelo y para neutralizar la acidez resultante del uso de tales fertilizantes como urea. La dolomita neutraliza la acidez del suelo a través de un intercambio de base con los cationes de calcio y magnesio desplazando los iones hidrógeno en el suelo.

Este proceso resulta en un incremento de 15-40% en el campo de la cosecha. La eliminación del magnesio del suelo por varias plantas es dada en la Tabla 1.

La dolomita es añadida para mejorar esta perdida; el tamaño de grano óptimo de 1.25-0.18 micrones logra gratuitamente un polvo fluido. Para Kuwait, la dolomita añadida la urea es esperada por ser útil; ha sido de normal práctica en otra parte para 4 lb. de la dolomita a 2.15 lb. de urea para contar la acidez generada de la urea.

FIGURA Nº 2: USOS DE LA DOLOMITA

Aplicaciones Directas	Dolomita Semicalcinada	Químicos de la dolomita
a.Agricultura	a. Cemento de Oxiclورو de Magnesio.	a.Oxido de Magnesio
b.Clinker del mortero de cemento.	b.Cemento de Oxisulfato	b.Hidróxido de Magnesio
c.Clinker de dolomita	c.Espumas de Magnesio Inorgánico.	c.Carbonato de Magnesio
d. Tratamiento de Cracks.	d. Ladrillos de Silicato	
e. Otros alrededor de Las Aplicaciones establecidas en Kuwait tales como: Asfaltado.		

TABLA Nº 1: CANTIDAD DE MAGNESIO ELIMINADO DEL SUELO PARA PRODUCIR VARIOS CULTIVOS, CAMPO POR ACRE

Cultivo	Acre * Cultivo (t)	Magnesio (Lb)	(Kg)
Alfalfa, Heno	4	50	22.7
Coles, cabezales	10	4	1.8

Fuente: Dr. Anani Ali, Consultant Industrial of the Centre for Investment Studies (CIS) in Amman, Jordan, " Applications of Dolomite", Octubre de 1984.

PROCESO DE SEPARACIÓN DEL MgCO_3 y CaCO_3 DE LA DOLOMITA Y CALIZA DOLOMÍTICA

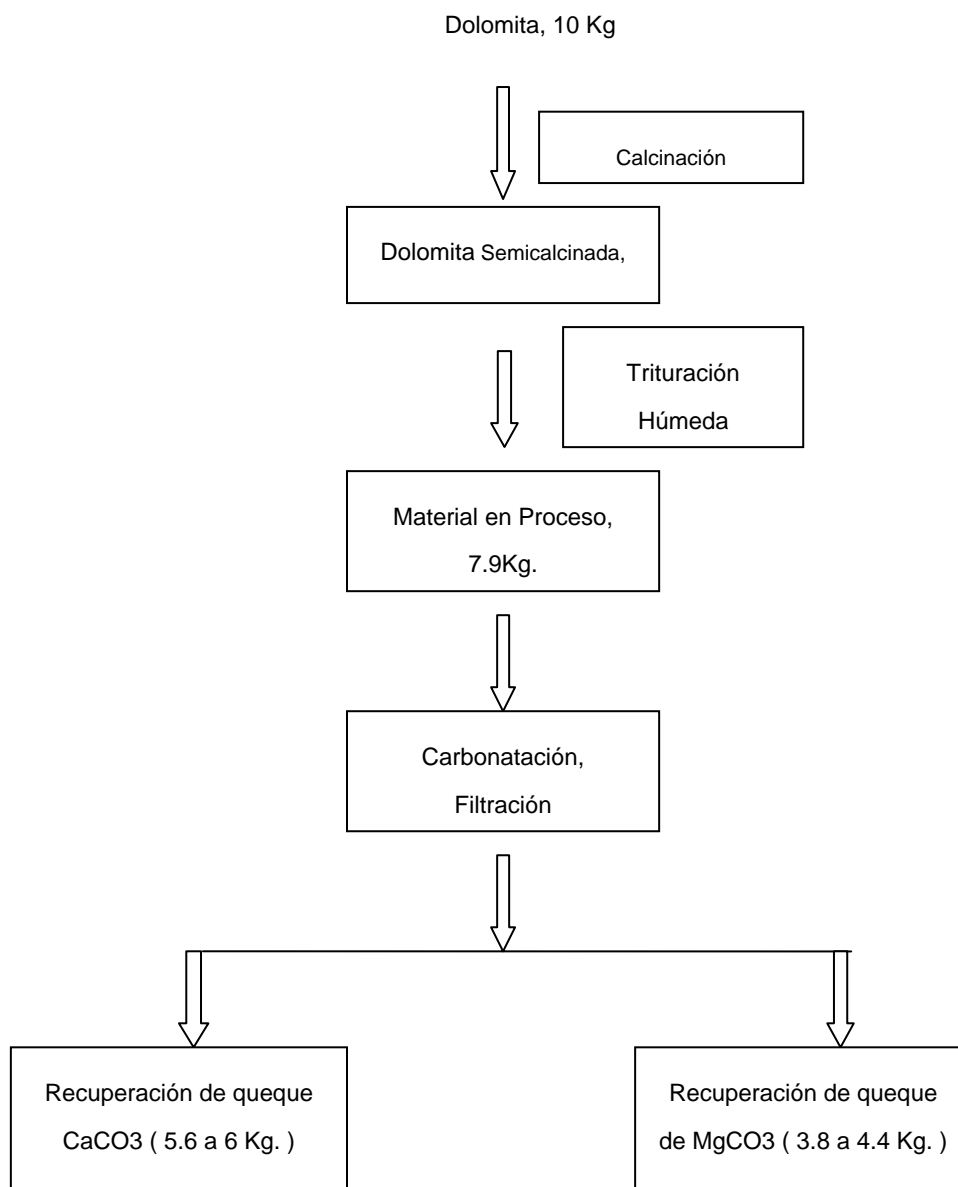


FIGURA Nº 3: SEPARACIÓN DEL MgCO_3 y CaCO_3 DE LA DOLOMITA Y CALIZA DOLOMÍTICA: CUADRO DE FLUJO DE MATERIAL PARA UNA OPERACIÓN TÍPICA BATCH DE 10 KG. BAJO CONDICIONES ÓPTIMAS.

4.6.5. PRODUCTOS QUIMICOS DE LA DOLOMITA.^[2, 3,4]

Un proceso para separar MgCO_3 y CaCO_3 de la dolomita y la caliza dolomítica ha sido desarrollado por Viswanathan et al 1979. El MgCO_3 puede ser usado como un posible reemplazo para el CaCO_3 en la manufactura de refractarios básicos y químicos Mg como un sellador plástico. La fracción rica en caliza puede ser usada por la manufactura de cemento, como el contenido de oxido de magnesio que está por debajo del 3%.

La factibilidad económica de este proceso depende de la aplicación que se desarrollo para los productos del proceso. El proceso, consiste de una dolomita combustionada triturada ó una caliza dolomítica en un horno de baja atmósfera de CO_2 y temperatura donde sólo el componente de MgCO_3 se descarbonatará. (Ver Tabla N° 2)

La dolomita semicalcinada ($\text{MgO} \cdot \text{CaCO}_3$) es triturada en húmedo para una finura de aproximadamente 10% retenida en una malla de 90 micrones.

El triturado fino es esencial para asegurar la hidratación completa al hidróxido de Mg.

La recarbonatación regenera el MgCO_3 , que esta separado del lodo de calcio remanente.

TABLA N° 2: ANÁLISIS ORIGINAL DEL MATERIAL (% PESO)

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
CaCO_3	30.65
MgO	21.07
SiO_2	1.16
Fe_2O_3	0.45
Al_2O_3	0.24
Pérdida por calcinación	46.41

Fuente: Dr. Anani Ali, Consultant Industrial of the Centre for Investment Studies (CIS) in Amman, Jordan, " Applications of Dolomite", Octubre de 1984.

Los químicos primarios que son obtenidos de la dolomita son $\text{Mg}(\text{OH})_2$, MgCO_3 , MgSO_4 (como se mencionó disminuyo el cemento de Oxisulfato).

OXIDO DE MAGNESIO. Es usado para fabricar materiales refractarios.

HIDRÓXIDO DE MAGNESIO. Es útil en la preparación de MgO con una gran superficie porosa a través de un cuidadoso control de tiempo y temperatura. El MgO con un área superficial de $200 \text{ cm}^2/\text{g}$ aumenta la velocidad de Espesamiento de las resinas de poliéster.

Aparentemente las funciones de MgO por:

- (1) Formación de Soluciones entre Oxido de Metal y Grupos Finales de Poliéster.
- (2) Por formación de enlaces coordinados entre las sales de metal básico y los grupos de carbonilo de molécula ester.

El $\text{Mg}(\text{OH})_2$ es usado como un sellado plástico para retardar las propiedades (Yui, 1981).

CARBONATO DE MAGNESIO.

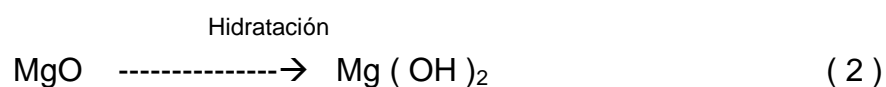
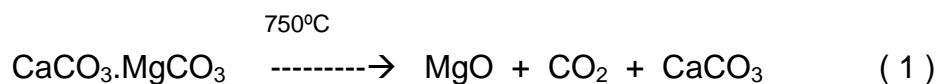
El uso del carbonato de magnesio no apareció haber sido explorado aunque tiene una densidad más baja que el carbonato de calcio. El Carbonato de Calcio es ampliamente usado como un relleno en varias aplicaciones. Comúnmente, el carbonato de magnesio es usado en pequeña escala como un relleno en el papel, pintura, caucho, barniz y las industrias farmacéuticas.

4.6.6. MÉTODOS PARA EL MONITOREO DE LA CALCINACIÓN DE LA DOLOMITA.

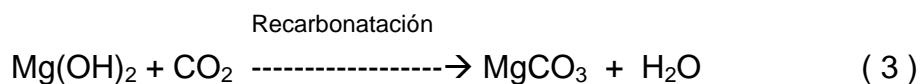
El proceso de calcinación de la dolomita proporciona un material útil para varias aplicaciones. El control del proceso de calcinación es por lo tanto de importancia global. Esta sección presenta procedimientos descritos en la literatura de tal manera que sean empleados para monitorear el proceso de calcinación.

El proceso de calcinación toma ventaja del hecho que el componente del carbonato de magnesio de la dolomita se descompone a temperaturas debajo de 750°C (normalmente entre 500-600°C). El proceso de calcinación parcial procede según la ecuación 1.

La Hidratación (ecuación 2) y la recarbonatación (ecuación 3) luego siguen:



Bajo Presión



CAPITULO V

MARCO CONCEPTUAL

5.1. FLOTACIÓN DE COBRE ^[1, 6]

El Proceso de la Flotación de Minerales tiene por objeto separar a los minerales no valiosos de los valiosos (separación sólido-líquido), para esto se utiliza reactivos como clectores, espumantes, depresores, activadores y modificadores de pH.

El cobre ocupa el primer lugar entre los metales que se recuperan por flotación. La mayor parte proviene de los sulfuros tales como: calcopirita, calcocina, bornita, covelita, tenantita, tetraedrita, enargita y varios otros. El resto proviene de minerales oxidados; tales como: cuprita, malaquita, azurita, crisocola, chalcantita, brochantita y otros.

Los sulfuros de cobre son minerales de buena flotabilidad. Su flotabilidad natural disminuye cuando son afectados por la oxidación ó por algunos fenómenos secundarios como son: la depresión por lamas y productos de descomposición.

Los minerales sulfurados de cobre flotan sin ninguna dificultad, con cualquier colector sulfhídrico y con cualquier espumante. Tienen una gran aceptación como colectores los xantantos, dixántogenos, ditiofosfatos y el Z-200. El espumante de mayor uso es el aceite de pino, aunque también se emplean el ácido cresílico y a veces los alcoholes y espumantes sintéticos.

La Flotación de los Sulfuros de Cobre se efectúa normalmente en un circuito alcalino de pH 9, para deprimir la pirita que los acompaña. Si hay problemas en la depresión de la pirita se usa una alcalinidad más alta que puede llegar a pH 11,5 y 12 y la depresión se ayuda con pequeñas cantidades de cianuro.

La alcalinidad se obtiene con cal, por razones económicas, pero hay casos en que se usa carbonato de sodio.

5.2. EFLUENTES LÍQUIDOS DE FLOTACIÓN ^[11,12]

Los Efluentes Líquidos que se producen en el proceso metalúrgico, son los que provienen de las plantas de beneficio, donde se emplean los métodos de flotación ó como también en el proceso de lixiviación usado en los yacimientos cuando minerales se encuentran diseminados en la explotación.

Los metales presentes en los efluentes de mina son : los metales pesados que se encuentran disueltos y que en su mayoría son tóxicos, el lodo suspendido mezclado con metales tóxicos, los reactivos que se usan en la etapa de flotación y lixiviación. Los efluentes son llevados hacia las canchas de relaves para luego ser depositados, en algunos casos son tratados para luego ser vertidos en el curso del río.

Las aguas salientes del proceso también contienen cianuro de sodio, sulfato de cobre, sulfato de zinc, espumantes, entre otros, la utilización de éstas sustancias, es durante el proceso de flotación para absorber los minerales y que no queden libres en el proceso, su uso en exceso puede permitir que las aguas contengan estos elementos dañinos para el ambiente, los tratamientos para éstos efluentes resultantes de la flotación pueden ser tratados con lechada de cal para elevar su pH y precipitar algunos metales que existieran en la solución.

Cabe resaltar que la primera consideración relacionada a los efluentes líquidos y su calidad, es el contenido de sólidos muy finos en suspensión, el cual es usualmente medido como sólidos totales en suspensión (TSS) ó menos frecuentemente como unidades de turbidez.

Por otro lado, los floculantes (polímeros sintéticos), coagulantes (Fe, Al y sales) y reactivos químicos para ajustar el pH (cal) pueden ayudar a la reducción de las partículas suspendidas.

La filtración a través de filtros de arena que pueden utilizar las arenas de relaves cicloneados como medio filtrante han sido también sugeridas como un medio para reducir las partículas ultra-finas en suspensión.

5.3. CONTAMINACIÓN QUÍMICA DE LOS PROCESOS DE BENEFICIO METALÚRGICO ^[11,12]

Los residuos de reactivos utilizados en flotación acompañan tanto a los relaves sólidos como a los líquidos descargados en los relaves. Los reactivos de flotación pueden ser cal, ditiofosfatos, xantatos, cromatos, sulfitos, sulfato de cobre, sulfato de zinc, ácidos grasos, alcoholes, aceites y cianuro entre otros, dependiendo del requerimiento metalúrgico específico de cada operación.

Este tipo de contaminación se presenta por la naturaleza de los reactivos que se usan en la minería para el procesamiento de minerales, destacando los ácidos H_2SO_4 , HCl , HNO_3 , los alcalinos CaO , $Ca(OH)_2$, $CaCO_3$, $NaOH$, NH_4OH , NH_3 , así como también los espumantes y colectores que son de origen orgánico, ó los modificadores inorgánicos, así como los silicatos y cromatos.

Generalmente se aplican en pequeñas concentraciones en las operaciones más eficientes; los reactivos orgánicos de flotación se descomponen rápidamente y son rara vez responsables de algún impacto ambiental serio.

El Proceso de Flotación puede también liberar otros constituyentes en solución, dependiendo de la extensión en la cual éstos puedan estar presentes en el mineral y de su solubilidad.

Más importantes pueden ser los metales potencialmente tóxicos, tales como: arsénico y selenio (sólo si están presentes en el mineral) que pueden ser solubles cerca del pH neutro. Algunos de éstos metales pueden ser tóxicos para el consumo humano en mayores concentraciones.

La toxicidad de los elementos metálicos depende de la concentración del metal, acidez y dureza, los elementos más contaminantes son: sodio, hierro, plomo, zinc, cobre, cadmio, mercurio, molibdeno, cobalto, fósforo, estaño, plata, bismuto, antimonio, sulfuros, carbonatos, fosfatos, sulfatos, nitratos, sílice, yodo, entre otros.

Estos metales cuando se encuentran disueltos en el agua en forma iónica ó en moléculas complejas cambia la estructura molecular. Otra forma de efecto tóxico es por efecto de los aceites, lubricantes y petróleo diesel, que si tienen contacto con efluentes líquidos forma una capa delgada sobre la superficie impidiendo la oxigenación y por ende matando a la flora y fauna acuática.

El incremento en el pH causa una adsorción de los metales disueltos sobre varias de las fases sólidas en la columna de agua. Las fases sólidas interactúan con los constituyentes disueltos en las aguas naturales que consisten de una variedad de componentes que incluyen minerales de arcilla, carbonatos, cuarzo, feldespato y sólidos orgánicos. Estos componentes son usualmente cubiertos con hidróxido de manganeso y óxidos de hierro, y por sustancias orgánicas. Estas capas regulan una gran extensión del proceso de adsorción (Salomons y Forsner, 1984; Hart y Hines, 1994).

El parámetro más importante que describe el comportamiento de la adsorción a primera aproximación es el pH. Comúnmente, la adsorción de los metales se incrementa de casi cerca de cero a casi 100% cuando el pH se incrementa a través de un amplio rango crítico de 1 a 2 unidades.

Esto significa que un cambio relativamente pequeño en el pH de la superficie del agua causa un agudo incremento ó disminución en la concentración de un metal disuelto. Este comportamiento es un ejemplo de una respuesta no lineal de los metales pesados para los cambios ambientales.

La instalación de la adsorción es característica para cada metal. En aguas naturales más que un metal pesado que esta presente y presenta una adsorción competitiva puede tomar lugar. Los mayores cationes tales como Mg^{2+} ó Ca^{2+} también compiten para los lugares de adsorción con los metales.

El conocimiento del modo de ocurrencia de los metales pesados (por ejemplo: su distribución en formas iónicas, su asociación con ligandos y la adsorción de materia suspendida) no es simplemente de interés académico, debido a que la forma iónica del metal es generalmente la más tóxica.

5.4. TECNOLOGÍA LÍMPIA Y TECNOLOGÍA DE LIMPIEZA ^[7]

La aplicación de una Tecnología Limpia sigue una pauta de prioridades, siendo la de mayor relevancia la reducción en las fuentes, ya que ataca el problema en su raíz. Sin embargo es ésta alternativa la que demanda también mayor tiempo y dinero y es la razón porque en la gran mayoría de los casos se opta por las últimas y menos prioritarias (tratamiento y disposición).

La primera alternativa, demanda mayores recursos ya que para solucionar el problema se desarrollan cambios drásticos en el proceso, tales como cambios de tecnología o modificaciones profundas. Ello significa indudablemente desarrollar un trabajo de investigación fundamental y aplicado, de largo plazo, escalando consecutivamente desde las etapas de laboratorio a plantas pilotos y más tarde industriales, e involucrando grupos de investigadores en su desarrollo. Es la alternativa que han empleado países más desarrollados, que disponen de mayores recursos y por ende son capaces de correr también los riesgos de invertir en investigación que no siempre conduce a los resultados esperados.

La última opción, muy utilizada en los países más pobres, significa involucrar menos recursos, pero también mantener un problema no resuelto y prolongarlo en el tiempo.

Conviene acotar dentro de este esquema, que una alternativa muy válida es el reciclaje, que puede significar solucionar el problema realimentando el propio circuito de producción. También hay que acotar que no siempre ello es posible, ya que en muchos casos puede significar acumular dentro del circuito material contaminante no deseado. En nuestros países hoy se emplea todavía mucha disposición y poca reducción en las fuentes. Este cambio debiera producirse incentivando la investigación y el desarrollo tecnológico, allegando mayores recursos a estas actividades. Sin embargo estos recursos no siempre están disponibles o no están dentro de las políticas de desarrollo de los gobiernos.

La producción más limpia puede ser entendida como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada a procesos, productos y

servicios para incrementar la eficiencia en general, y reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente.

Las tecnologías limpias están orientadas tanto a reducir como a evitar la contaminación, modificando el proceso y/o el producto. La incorporación de cambios en los procesos productivos puede generar una serie de beneficios económicos a las empresas tales como la utilización más eficiente de los recursos (agua y energía), reducción de los costos de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los desechos.

En principio, la producción limpia podría entenderse como aquella que no genera residuos ni emisiones. En la realidad esto no es así. Primero, porque en el estado actual de desarrollo son escasas las tecnologías económicamente viables que logren cero emisión. Segundo, porque si bien toda emisión puede generar una externalidad negativa (o pérdida de bienestar social sin compensación), el nivel óptimo de contaminación no es igual a cero, sino aquel en que los beneficios sociales marginales de minimizar residuos, sean equivalentes a los costos sociales marginales de lograr tales reducciones.

5.5. REMEDIACIÓN ^[9]

Generalmente, Remediación significa dar remedio. En este artículo, el término se refiere a la remoción de contaminación o contaminantes del medio ambiente: suelo, aguas subterráneas, sedimento o aguas de la superficie para la protección general de la salud humana y del ambiente, o de tierras provistas para el redesarrollo.

La remediación es generalmente tema de requerimientos regulatorios y, además, puede estar basado en gravámenes de salud humana y riesgos ecológicos donde no existen estándares legislados o donde los estándares son consultivos.

Es en ese sentido, que se define de manera formal a la remediación como un Conjunto de medidas a que se someten los sitios contaminados, para eliminar o reducir los contaminantes hasta un nivel seguro para la salud y el ambiente o prevenir su dispersión sin modificarlo.

5.6. ADSORCIÓN. ^[8]

Es difícil definir ó limitar el fenómeno de la adsorción. En algunos casos, la adsorción es muy semejante a la reacción química, pero en casos extremos es muy diferente de ésta. A veces tiene lugar la adsorción cuando difícilmente podría esperarse una reacción química.

Las fuerzas que intervienen en los fenómenos de adsorción son distintas de las que se encuentran en las reacciones químicas y en los compuestos químicos ordinarios.

La adsorción puede deberse a la acción de esas fuerzas de valencias parciales. Ese punto de vista haría posible La adsorción puede compuestos químicos y los de adsorción.

Si se estudia la relación entre la cantidad adsorbida y la concentración de la solución, y la cantidad de sustancia tomada de la solución, ó sea, la cantidad adsorbida sobre la superficie de un sólido adsorbente, se transporta a una gráfica en función de la concentración de la solución, se obtienen curvas cóncavas con respecto al eje de la concentración denominadas isotermas de Langmuir que propuso que las fuerzas que actúan en la adsorción son de clase semejante a las que intervienen en la combinación química.

5.6.1. LA ADSORCIÓN COMO OPERACIÓN UNITARIA. ^[8]

Podría considerarse como complementaria ó suplementaria de otras operaciones y procesos unitarios, cada uno de los cuales tiene limitaciones concretas con respecto a las pequeñas concentraciones de sustancias que habrían de eliminarse o sacarse.

El Tratamiento de Líquidos se ajusta a mantener las composiciones dentro de límites definidos. La materia prima se somete a un tratamiento escalonado para obtener productos de pureza satisfactoria. Cada etapa del Tratamiento aumenta la concentración de los constituyentes indeseables. Esos cambios en

la concentración implican separaciones químicas, físicas ó mecánicas.

Los Métodos Químicos son eficaces cuando se separan compuestos de composición definida en soluciones reales ó coloidales; de lo contrario, se prefieren métodos físicos ó mecánicos con un tratamiento químico como paso preparatorio. Cada método tiene sus limitaciones respecto a las pequeñas concentraciones de sustancias de ordinario clasificadas como impurezas.

Los Métodos Químicos más comúnmente empleados son:

- La Precipitación efectuando una reacción con la sustancia a separar, haciéndola insoluble.
- La precipitación de los Coloides ó Cuerpos en Suspensión añadiendo un agente coagulante apropiado.

5.7. ADSORBENTES. ^[8]

Los adsorbentes como la dolomita, separan los sólidos por atracción superficial y permiten su fácil filtración. Estas sustancias de carácter químico sirven para separar impurezas en dispersión por emulsión que no pueden sedimentarse ni ceden a la centrifugación.

Los reactivos químicos no producen a menudo una completa eliminación cuando se usan para la precipitación de sustancias coloidales de líquidos. Estas reacciones dependen de condiciones estrechamente definidas de temperatura, pH, etc., alterándose en muchos casos el punto de equilibrio en sentido opuesto al deseado por variaciones pequeñas e incontrolables de las mismas.

5.8. TRATAMIENTOS DE DESCONTAMINACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS. ^[13]

5.8.1. TRATAMIENTOS PRIMARIOS.

Se incluyen en este grupo aquellos procesos ó conjunto de procesos que tienen como misión la separación por medios físicos de partículas en suspensión que existan en el agua a tratar. Se Suelen incluir procesos como: La Decantación, Homogenización, Cribado ó Filtrado, Coagulación, Floculación, Precipitación y Neutralización.

5.8.2. TRATAMIENTOS SECUNDARIOS.

Fundamentalmente consisten en procesos biológicos empleados para degradar la materia orgánica biodegradable. Pueden agruparse en dos grandes grupos: Los Procesos Aerobios y Anaerobios.

5.8.3. TRATAMIENTOS TERCIARIOS.

Tradicionalmente se han considerado los tratamientos terciarios como procesos de afino para sustraer los contaminantes que no han podido ser eliminados en las fases de tratamiento anteriores. Además, los tratamientos terciarios a utilizar dependían mucho del uso posterior que iba a hacer del agua ya depurada. Sin embargo, en la actualidad, esto ya no se realiza de la misma manera y los tratamiento terciarios se han generalizado y, en le caso de las aguas con contaminantes industriales, muchas veces es el único que se realiza ya que se trata, normalmente, de eliminar contaminantes muy específicos.

Se suelen incluir procesos como: Adsorción, Intercambio Iónico, Ultrafiltración, Procesos con Membranas.

De modo general, cabe resaltar que actualmente se da solución a la Problemática de Efluentes Metalúrgicos y Aguas Ácidas de Mina, mediante la aplicación combinada de los Tratamientos Primarios y Terciarios, que son los Métodos Activos.

CAPITULO VI

TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS CON ÉNFASIS EN EL ABATIMIENTO DE COBRE CON DOLOMITA

6.1. FUNDAMENTO.

Este Tratamiento de Remediación Se Basa en la Precipitación Química y Adsorción en el Tratamiento de Efluentes de Drenajes conteniendo metales disueltos, debido a que a pesar de la eficacia que muestran los métodos de tratamiento de efluentes metalúrgicos y de drenaje ácido de mina, mencionados anteriormente, se puede afirmar que éstas tecnologías si bien son técnicamente factibles, no lo son tanto factibles en el aspecto económico; es por ello, que con el desarrollo del proyecto de la tesis se daría solución a la generación de aguas ácidas provenientes de labores mineras, así como a los efluentes provenientes de operaciones y procesos metalúrgicos, puesto que la técnica de remediación de efluentes metalúrgicos con énfasis en el abatimiento de cobre y otros iones con dolomita, es eficaz y eficiente en cuanto a la solución de esta problemática ambiental generada por las propiedades fisicoquímicas que posee la dolomita, las cuales son neutralización de las aguas ácidas, adsorción de metal pesado en solución y sedimentación de metal pesado en suspensión.

Mediante la presente Tesis, se propone el estudio de la Remediación Ambiental de los pasivos ambientales, principalmente de los denominados efluentes metalúrgicos, cuyos vertimientos sin tratamiento previo, impactan negativamente de manera directa, principalmente la calidad de agua de la cuenca de los ríos, cuyo ecosistema se ha convertido en un lugar sin indicio de vida acuática, siendo el consumo de esta agua nocivo para los seres vivos.

Es en ese sentido, que se procederá al tratamiento de remediación de los efluentes metalúrgicos generados durante los procesos de beneficio metalúrgico de minerales sulfurados y oxidados de cobre.

Cabe resaltar que este Tratamiento es considerado como una alternativa de solución a la generación de efluentes metalúrgicos por el empleo de la dolomita, el cual es un mineral no metálico de carbonato doble de calcio y magnesio ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), que se comporta como un efectivo reactivo de remediación, debido a las propiedades fisicoquímicas de la neutralización de la acidez de aguas ácidas, así como la adsorción de iones metálicos disueltos en las aguas ácidas.

Asimismo, la realización de este estudio, propone establecer una metodología de trabajo que desarrolle una tecnología de limpieza a nivel de laboratorio con perspectivas a desarrollar tecnología de limpieza a nivel de planta piloto con el posterior desarrollo de una planta de tratamiento de remediación a nivel industrial, que involucre las técnicas y los procedimientos experimentales necesarios para hacer posible el tratamiento de remediación de los efluentes metalúrgicos provenientes de la lixiviación por cianuración de mineral de cobre, que comprenda la reducción de la concentración de los iones generadores de contaminación, principalmente ión metálico disuelto de cobre.

Por lo tanto el problema, en el caso de empresas de la pequeña y mediana minería, implica buscar innovaciones tecnológicas que reduzcan costos pero que permitan procesar efluentes cumpliendo las disposiciones de la autoridad ambiental.

Como respuesta a esta problemática ambiental, es que se plantea la opción de usar tecnología para tratar drenajes de mina que contengan metales disueltos tal como el cobre, que consiste en abatir este contaminante transformándolo en compuesto inocuo mediante el proceso de precipitación química y adsorción.

La implementación del proceso de precipitación química en la pequeña y mediana minería requiere la infraestructura y equipos que representan costos

significativos frente a ingresos cada vez menores.

Es en ese sentido que el presente estudio denominado “ **TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS CON ÉNFASIS EN EL ABATIMIENTO DE COBRE CON DOLOMITA**”, enfoca el tema planteando un tratamiento químico mediante el empleo de minerales carbonatos comunes tales como la dolomita, el cual posee la propiedad química de amortiguamiento fuerte a la acidificación de suelos y aguas en zonas mineras.

CAPITULO VII

MARCO METODOLOGICO

La Tesis denominada “Tratamiento de Efluentes Metalúrgicos Con Énfasis en el Abatimiento de Cobre con Dolomita” está enfocado a desarrollar una metodología Adaptativa y Aplicativa, puesto que consiste en una Tecnología de Limpieza que se fundamenta en los Procesos de Tecnologías Limpías que busca ser considerado como parte de una estrategia ambiental preventiva e integrada para los procesos de operación metalúrgica con la finalidad de aumentar la eficiencia y reducir los riesgos sobre la población humana y el ambiente.

Es en ese sentido que este tipo de tratamiento se aplicaría principalmente en aguas ácidas de mina y aquéllos efluentes provenientes de la Actividad Minero-Metalúrgica, tales como los Efluentes Metalúrgicos de Flotación y los Efluentes Metalúrgicos de Lixiviación.

7.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

7.1.1. METODOLOGÍA ADAPTATIVA Y METODOLOGÍA APLICATIVA.

Esta técnica de remediación se basa en una técnica de activo que se basa en un método químico, el cual es un proceso de oxidación, dosis con álcalis y sedimentación y adsorción de metales pesados disueltos.

El estudio denominado “Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos con énfasis en el abatimiento de cobre con dolomita”, sigue un diseño experimental realizado en base a pruebas realizadas en Laboratorio Metalúrgico y Laboratorio Químico de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos que demuestran la factibilidad técnico-económica de la reducción de la concentración de iones cobre (conversión de iones Cu^{+2} a Cu^0), a través de la etapa de adsorción de cobre con dolomita(en estado calcinado ó sin

calcinar), que constituye un procedimiento para la eliminación de iones cobre disueltos en efluentes metalúrgicos provenientes de plantas concentradoras de procesos hidrometalúrgicos y de flotación, que presentan concentraciones altas (> 10 ppm Cu), lo cual representa una gran problemática ambiental, puesto que la concentración de cobre establecida por el Ministerio de Energía y Minas que según la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM establece los Niveles Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos para las Actividades Minero-Metalúrgicas.

Es en ese sentido, que para dar solución a esta problemática se aplica el Tratamiento de Remediación, que consiste en la reacción química de efluente metalúrgico (conteniendo cobre disuelto) con dolomita, la cual es un mineral no metálico de Carbonato doble de Calcio y Magnesio ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) que constituye un efectivo reactivo de remediación debido a las propiedades fisicoquímicas de la neutralización de la acidez de efluentes metalúrgicos así como la adsorción de iones cobre y otros iones de metales pesados presentes en los efluentes metalúrgicos. Finalmente se obtendrán dos productos en dos fases: sólida y líquida.

CAPITULO VIII

CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS

Para el desarrollo de la presente Tesis se emplearon las siguientes muestras: Mineral de Calcopirita, Dolomita de Agregados Calcáreos, Dolomita Natural de Tingo María y Efluentes Metalúrgicos de Flotación y Efluente Metalúrgico de Lixiviación de Solución de Sulfato de Cobre.

Los resultados de los diferentes tipos de muestras empleados en la presente Tesis se encuentran especificados a continuación

8.1. CARACTERIZACIÓN INICIAL DE MUESTRAS DE MINERAL Y EFLUENTE METALÚRGICO

81.1. CARACTERIZACIÓN DEL MINERAL DE CALCOPIRITA.

El Mineral de Calcopirita pertenece a la Zona del Complejo Marañón, el cual se sometió a un Procesamiento del Mineral: Chancado, Molienda, Tostación y Lixiviación, con la finalidad de obtener Solución de Sulfato de Cobre, como un efluente proveniente del Proceso Metalúrgico de la Lixiviación (Ver Tabla N°3).

8.1.1.1. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL MINERAL DE CALCOPIRITA.

TABLA N° 3: LEYES DE CABEZA

Cobre (%)	Fierro (%)	Azufre (%)
10.5	18.55	26.35

Fuente: Ing. Mg. Lovera D., "Evaluación Integral de Operaciones y Procesos Metalúrgicos con Tecnología Limpia para la Pequeña Minería II ".Proyecto de Investigación 2005 de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

8.1.2. CARACTERIZACIÓN DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS.

8.1.2.1. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA INICIAL DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS. (Ver Tabla N° 4)

Nombre Comercial: Dolomita GCL.

TABLA N° 4: ANÁLISIS QUÍMICO TÍPICO

SiO ₂ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Pérdida por Calcinación	Fe ₂ O ₃ (%)
1-2.5	29.9-31%	19.9-21.5	44.5-46.2	0.2-0.3

Fuente: Presente Investigación

PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS:

Granulometría:

Retenido en Malla N° 325(%) ----- 0.1+-0.5
--

Fuente: Presente Investigación

**8.1.3. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA INICIAL DE DOLOMITA NATURAL
DE TINGO MARÍA EN ESTADO SIN CALCINAR**

SAMPLE	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	SrO	BaO	LOI	Total
DESCRIPTION	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
DN-T-M(+325)	0,15	0,06	1,1	30,43	21,18	0,03	0,04	<0.01	<0.01	0,05	0,107	<0.01	<0.01	46,7	99,85

Fuente: Presente Investigación

**8.1.4. CARACTERIZACIÓN INICIAL DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA
CONCENTRADORA DE LA UNI POR MÉTODO DE ICP TOTAL DISUELTOS**

MUESTRA	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Fe	K
DESCRIPCION	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
EFLUENTE METALÚRGICO	0.001	>25	0.005	1.7	0.048	0.0025	<0.005	>70	0.550	<0.05	9.190	1.133	>70	<0.1

MUESTRA	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Sc	Se	Si	Sn
DESCRIPCION	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
M-1	<0.0005	1.27	>70	>25	<0.005	13.5	8.088	<0.1	<0.004	0.041	<0.003	<0.05	29.5	0.01

MUESTRA	Sr	Ti	Tl	V	W	Y	Zn	Cu	ZR
DESCRIPCION	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
M-1	0.019	0.030	0.05	<0.002	1.423	0.090	6.025	>25	0.091

Fuente: Presente Investigación

8.1.5. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA INICIAL DE LODO DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

En la Figura N° 4, se aprecia la presencia de Óxido de Estroncio, Cobalto y Bismuto ($\text{Sr}_{0.1}\text{Co}_{0.9}\text{Ox}$), con un contenido de 27%, Jarosita Hidrogenada ($(\text{K}, \text{H}_3\text{O})\text{Fe}_3 (\text{S O}_4)_2 (\text{OH})_6$) con 25%, Sulfuro de Hierro ($\text{Fe}_{.91}\text{S}$) con 14%, Esfalerita Ferrosa Sintética ($\text{Zn}_{0.586}\text{Fe}_{0.414}\text{S}$) con 9%, Sulfuro de Cobre (CuS) con 16%, Sulfuro de Hierro y Cobre (CuFeS_2) con 8%, Arsenato Hidratado de Calcio y Uranio ($\text{Ca U}_2 \text{As}_2 \text{O}_{12.3} \text{H}_2\text{O}$) con 16%, Macedonita (Pb Ti O_3) con 18%, Óxido de Cobre (CuO) con 10%, Hidróxido de Silicato de Aluminio, Hierro, Magnesio y Sodio ($(\text{Na}_{0.5}(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_3 (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{O H})_2)$), con 7%, Silicato de Aluminio de Sodio Hidrogenado ($(\text{Na}_{8.48} \text{H}_{10.6} (\text{Al}_{17.6} \text{Si}_{174.4} \text{O}_{384}))$) con 6%, Óxido de Carbono de Silicato de Sodio, Calcio e Hidróxido de Aluminio (5%).

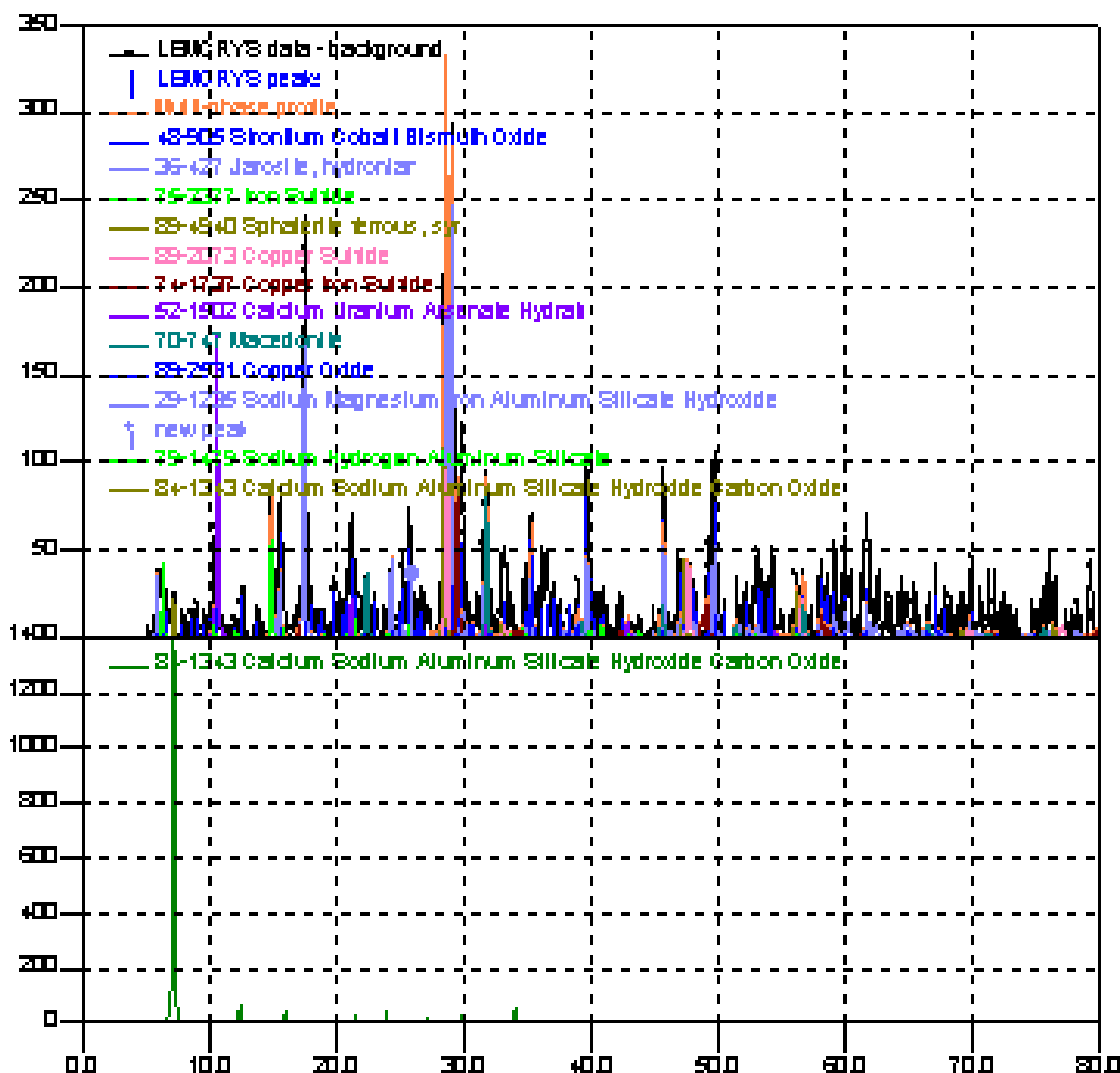


FIGURA N° 4: CARACTERIZACIÓN DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE LODO DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN

8.1.6. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO.

En la Figura N° 5, se aprecia la presencia de elementos de calcio y magnesio, en mayor proporción y en la Figura N° 6, se aprecia el Difractograma, que indica la presencia de elementos y compuestos derivados de carbono, oxígeno, magnesio, sílice y calcio. Ver Tablas N° 5 y 6.

8.1.6.1. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS SIN CALCINAR, MALLA -325

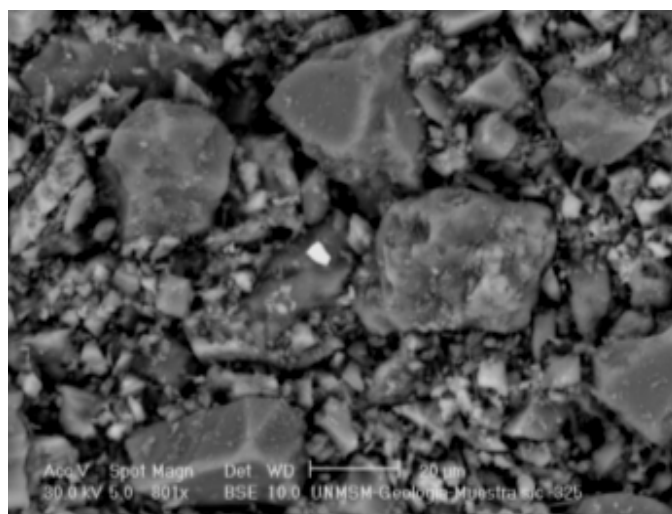


FIGURA N° 5: MUESTRA DE DOLOMITA COMERCIAL EN ESTADO NATURAL SIN CALCINAR

8.1.6.1.2. RESPUESTA ESPECTRAL DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS SIN CALCINAR, (MALLA: -325)

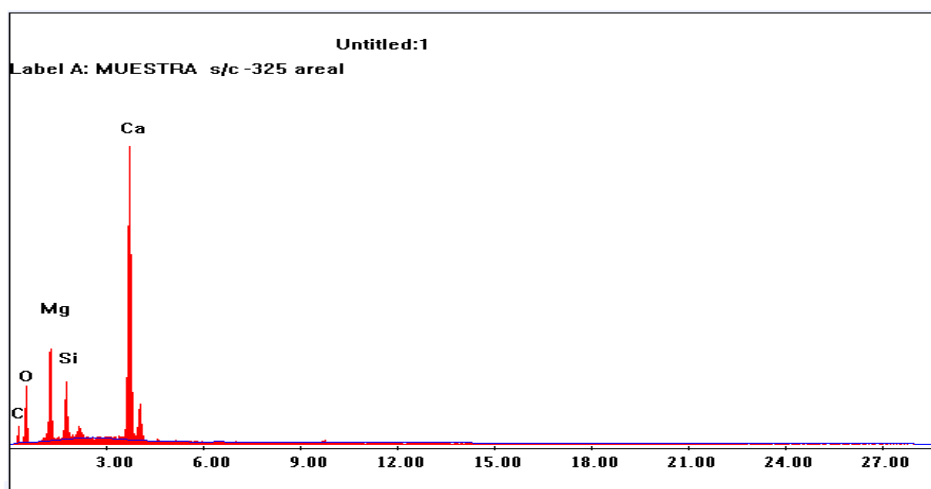


FIGURA N° 6: DIFRACTOGRAMA DE LA RESPUESTA ESPECTRAL DE LA CARACTERIZACIÓN DE DOLOMITA COMERCIAL EN ESTADO SIN CALCINAR

**TABLA Nº 5: ANÁLISIS QUÍMICO DE ELEMENTOS POR DIFRACCIÓN DE
RAYOS X**

Elemento	Wt %	At %
C K	19.23	30.71
O K	34.48	41.32
MgK	14.96	11.80
SiK	5.80	3.96
CaK	25.53	12.21
Total	100.00	100.00

Fuente: Presente Investigación

**TABLA Nº 6: ANÁLISIS QUÍMICO DE COMPUESTOS POR DIFRACCIÓN DE
RAYOS X**

Elemento	Wt %	At %
CO ₂	46.56	49.54
MgO	19.36	22.49
SiO ₂	8.82	6.88
CaO	25.26	21.09
Total	100.00	100.00

Fuente: Presente Investigación

8.1.7. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS.

En la Figura N° 7, se aprecia la Caracterización de Dolomita Comercial de Agregados Calcáreos en Estado sin Calcinar por la Técnica de Difracción de rayos X.

8.1.7.1. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS SIN CALCINAR.

En la Figura N° 7, se muestra la presencia de dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) con un contenido de 50%, Calcita (CaCO_3) con un contenido de 36%.

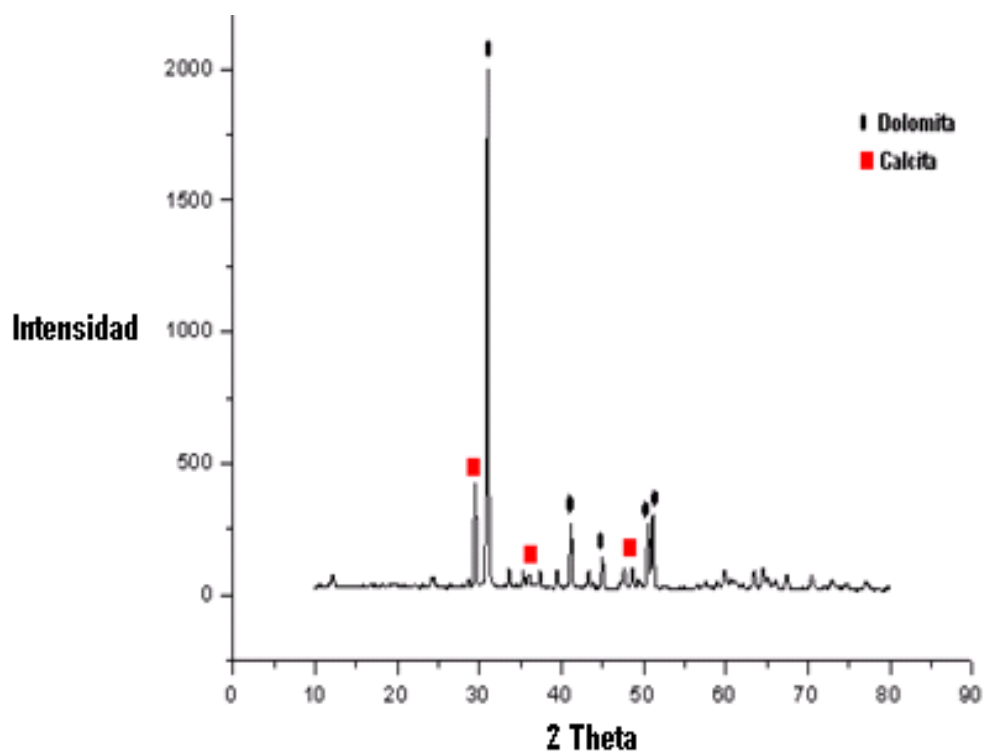


FIGURA N° 7: DIFRACTOGRAMA DE LA RESPUESTA ESPECTRAL DE LA CARACTERIZACIÓN DE DOLOMITA COMERCIAL EN ESTADO SIN CALCINAR POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

8.1.8. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 1000°C.

En la Figura N° 8, se aprecia la presencia de elementos de calcio y magnesio, en mayor proporción y en la Figura N° 9, se aprecia el Difractograma, que indica la presencia de elementos y compuestos derivados de carbono, oxígeno, magnesio, sílice y calcio. Ver Tablas N° 7 y 8.

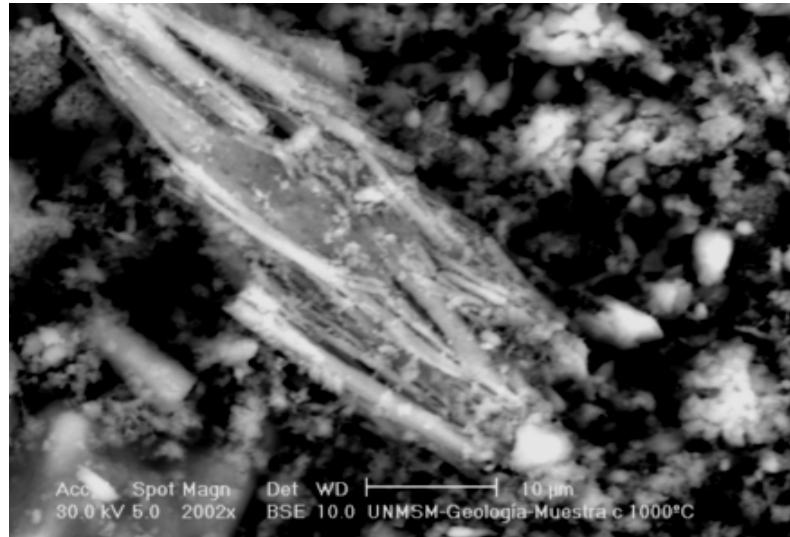


FIGURA N° 8: CARACTERIZACIÓN DE MUESTRA DE DOLOMITA COMERCIAL CALCINADA A 1000°C

RESPUESTA ESPECTRAL DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 1000°C (MALLA: -325)

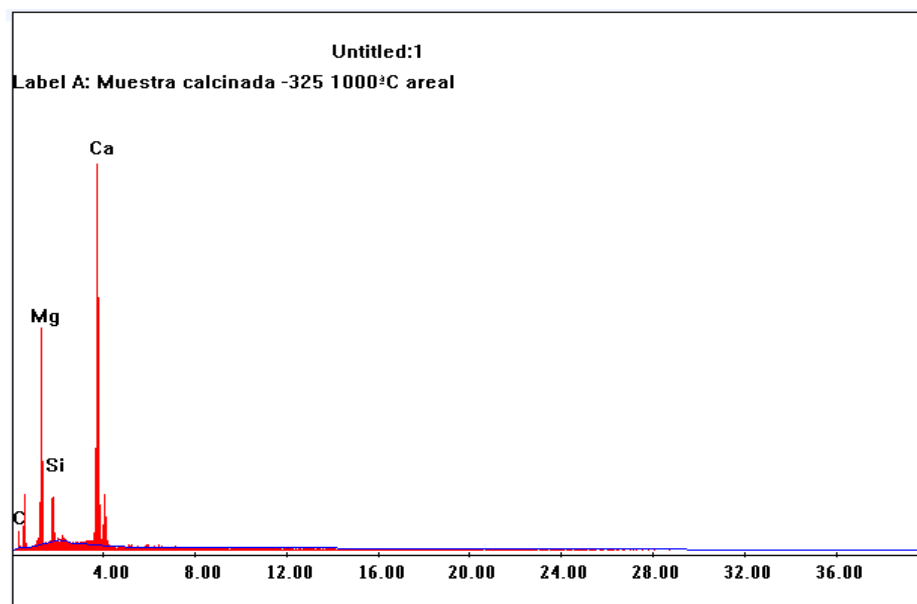


FIGURA N° 9: DIFRACTOGRAMA DE MUESTRA DE DOLOMITA COMERCIAL EN ESTADO CALCINADO A 1000°C

**TABLA Nº 7: ANÁLISIS QUÍMICO DE ELEMENTOS POR DIFRACCIÓN DE
RAYOS X**

Elemento	Wt %	At %
C K	14.82	25.60
O K	27.56	35.74
MgK	22.68	19.35
SiK	5.56	4.11
CaK	29.38	15.21
Total	100.00	100.00

Fuente: Presente Investigación

**TABLA Nº 8: ANÁLISIS QUÍMICO DE COMPUESTOS POR DIFRACCIÓN DE
RAYOS X**

Elemento	Wt %	At %
CO ₂	34.35	36.39
MgO	29.17	33.75
SiO ₂	8.11	6.29
CaO	28.36	23.58
Total	100.00	100.00

Fuente: Presente Investigación

8.1.9. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 1000°C.

En la Figura N° 10, se aprecia la presencia de compuestos derivados de Periclasa (MgO) con 56%, Portlandita (Ca(OH)_2) con 39% y Larnita (Ca_2SiO_4) con 23%.

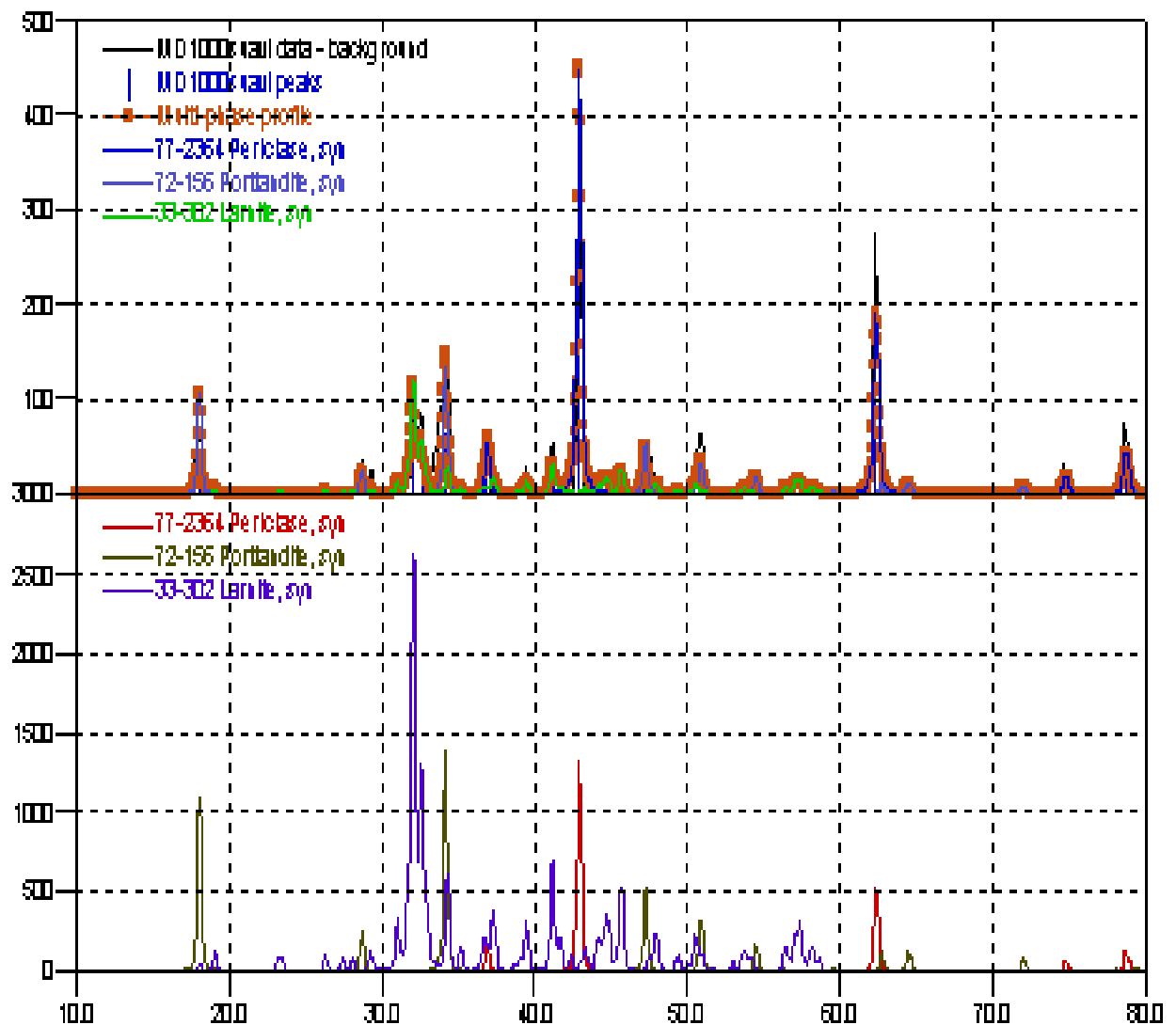


FIGURA N° 10: DIFRACTOGRAMA DE MUESTRA DE DOLOMITA COMERCIAL CALCINADA A 1000°C POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

8.1.10. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE LODO DE EFLUENTE METALÚRGICO TRATADO CON DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 1000°C.

En la Figura N° 11, se aprecia la presencia de Dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) con 24%, Floruro de Oxido de Titanio (TiOF_2) con 27% , Hidrato de Oxido de Níquel y Vanadio ($\text{Ni (V O}_3)_2 \cdot 4 \text{ H}_2 \text{O}$) con 29%, Óxido de Cobalto y Potasio ($\text{K}_{10} \text{ Co}_4 \text{ O}_9$) con 21%, Óxido de Bismuto, Bario y Potasio ($(\text{Ba}_{0.6} \text{ K}_{0.4}) \text{ Bi O}_{2.25}$) con 21% e Hidrato de Sulfato de Calcio ($\text{Ca S O}_4 (\text{H}_2 \text{O})_{0.67}$) con 15%.

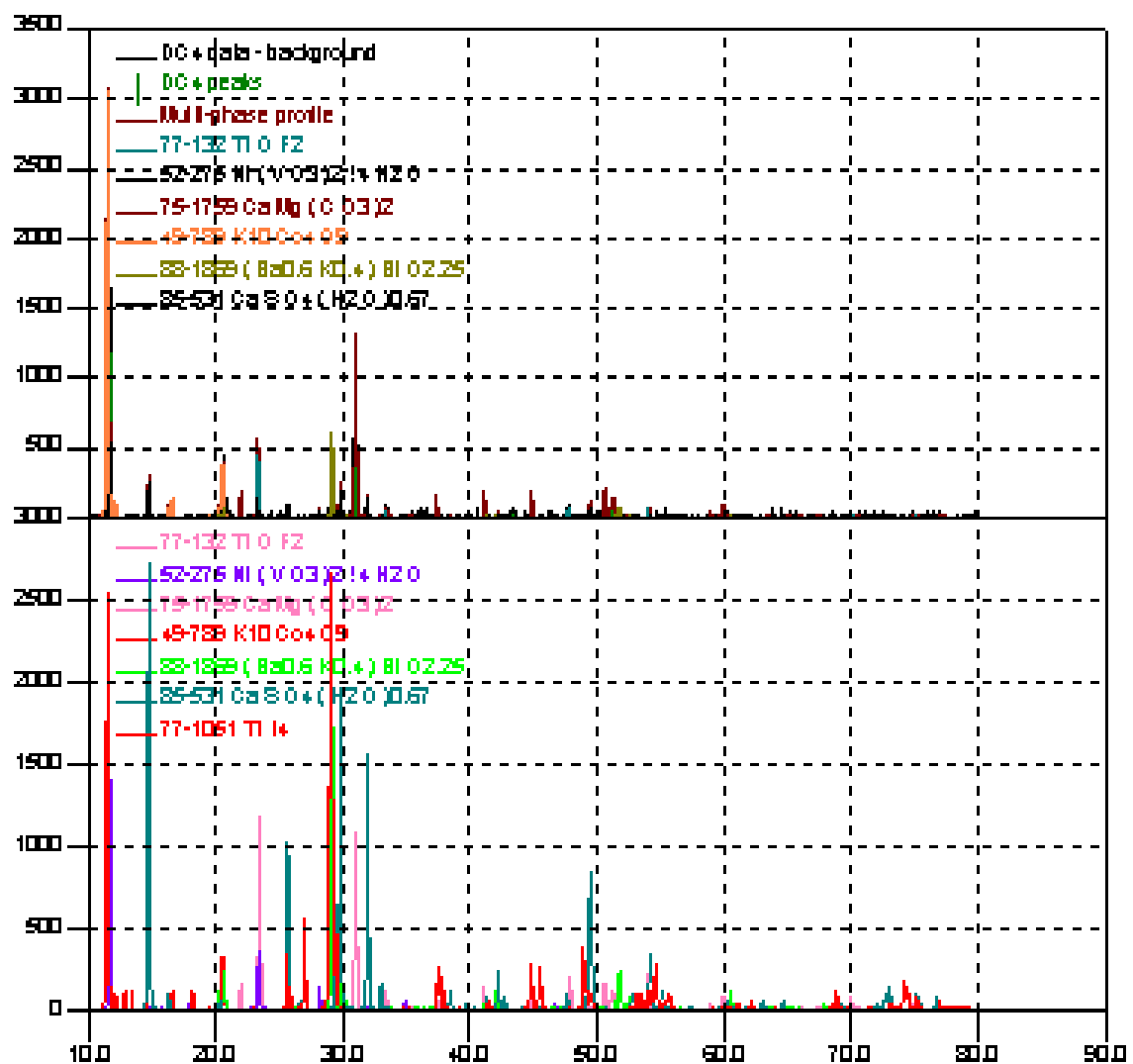


FIGURA N° 11: DIFRACTOGRAMA DE MUESTRA DE LODO DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN TRATADO CON DOLOMITA COMERCIAL CALCINADA A 1000°C POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

8.1.11. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE DOLOMITA NATURAL.

En la Figura N° 12, se aprecia la presencia de elementos de calcio, hierro y magnesio, en mayor proporción y en la Figura N° 13, se aprecia el Difractograma, que indica la presencia de elementos derivados de calcio, magnesio, cloro, carbono, manganeso, oxígeno y hierro. Ver Tabla N° 9.

8.1.11.1. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE DOLOMITA NATURAL EN ESTADO SIN CALCINAR.

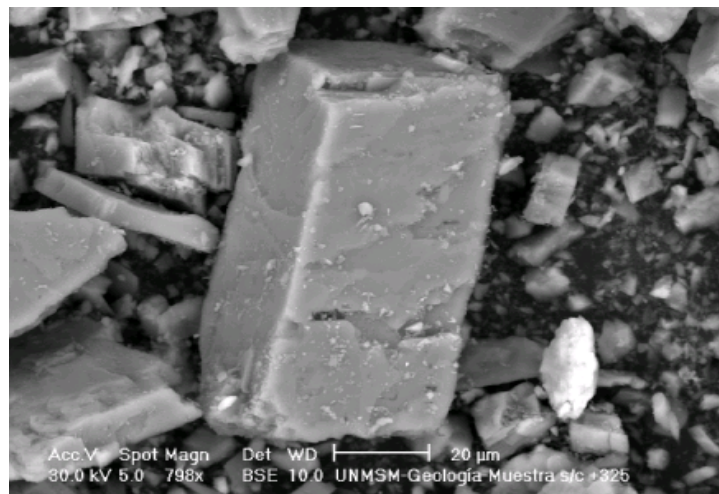


FIGURA N° 12: CARACTERIZACIÓN DE MUESTRA DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA EN ESTADO SIN CALCINAR

RESPUESTA ESPECTRAL DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA EN ESTADO SIN CALCINAR

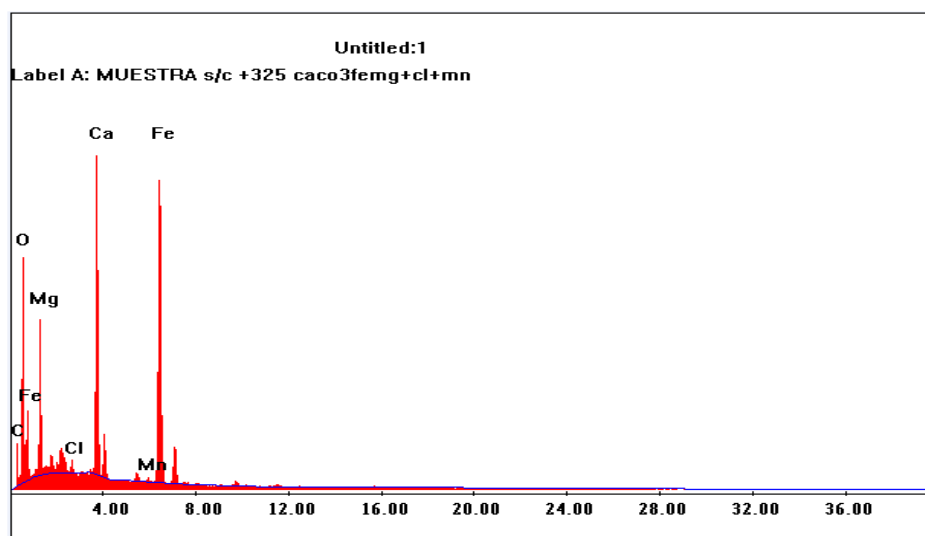


FIGURA N° 13: DIFRACTOGRAMA DE MUESTRA DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA EN ESTADO SIN CALCINAR

TABLA Nº 9: ANÁLISIS QUÍMICO DE ELEMENTOS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Elemento	Wt %	At %
C K	17.18	29.51
O K	35.34	45.59
MgK	11.69	9.92
Cl K	0.46	0.27
CaK	11.40	5.87
Mn K	0.42	0.16
Fe K	23.51	8.69
Total	100.00	100.00

Fuente: Presente Investigación

8.1.12. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA SIN CALCINAR.

En la Figura Nº 14, se aprecia la presencia de mineral de dolomita en mayor proporción.

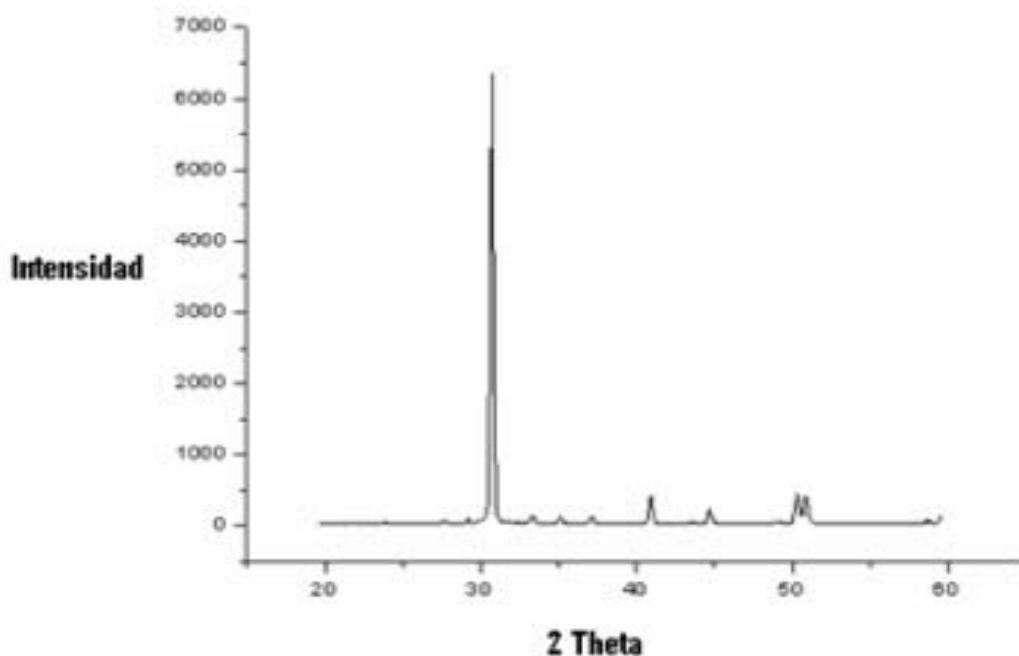


FIGURA Nº 14: DIFRACTOGRAMA DE MUESTRA DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA EN ESTADO SIN CALCINAR POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

8.1.13. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA CALCINADA 1000°C.

En la Figura N° 15 y 16, se aprecia la presencia de elementos de calcio, fierro, magnesio y oxígeno, en mayor proporción y en las Tablas N° 10 y 11, se aprecia el análisis químico de los elementos y compuestos de calcio, fierro, magnesio y oxígeno.

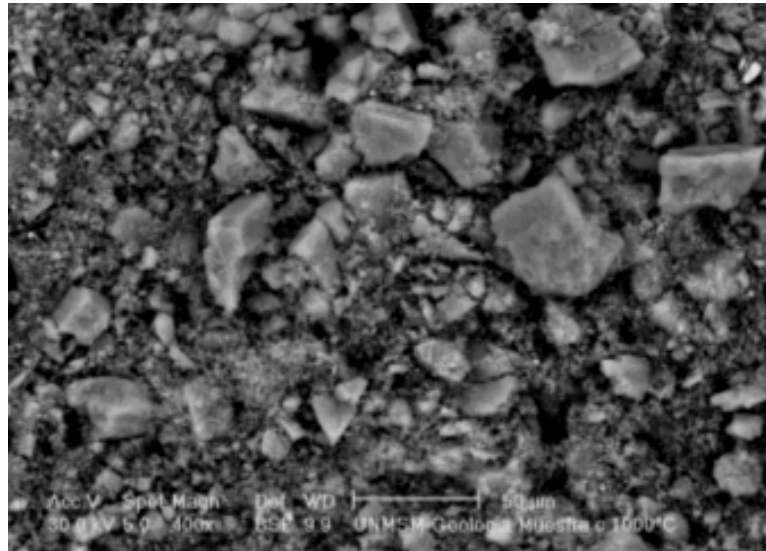


FIGURA N° 15: CARACTERIZACIÓN DE MUESTRA DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA EN ESTADO CALCINADO A 1000°C

8.1.13.1. RESPUESTA ESPECTRAL DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA EN ESTADO CALCINADO 1000°C

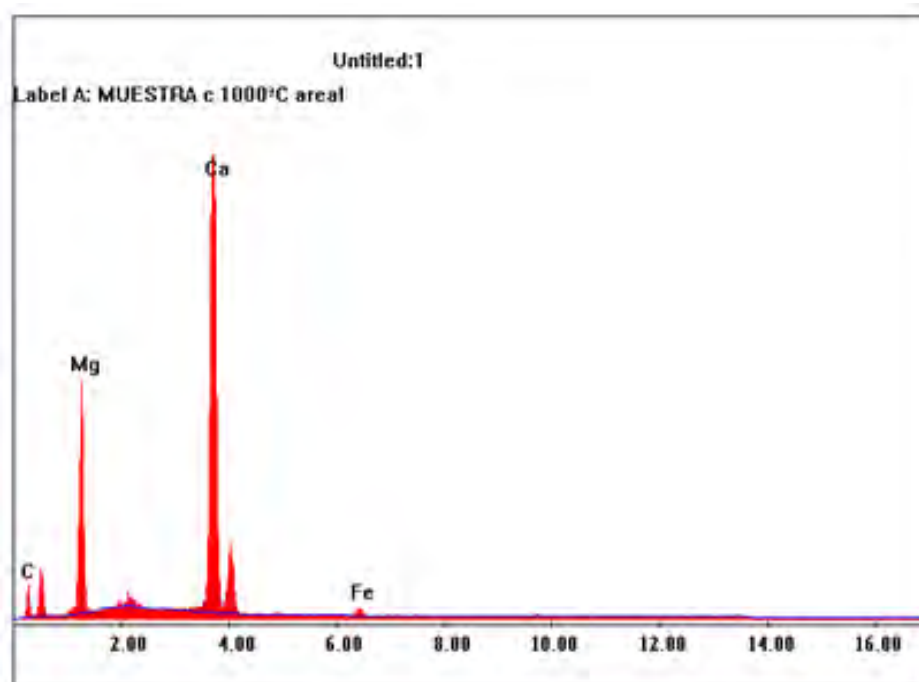


FIGURA N° 16: DIFRACTOGRAMA DE MUESTRA DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA EN ESTADO CALCINADO A 1000°C

TABLA Nº 10: ANÁLISIS QUÍMICO DE ELEMENTOS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Elemento	Wt %	At %
O K	18.45	35.24
MgK	20.04	25.19
CaK	27.48	20.95
Fe K	34.02	18.61
Total	100.00	100.00

Fuente: Presente Investigación

TABLA Nº 11: ANÁLISIS QUÍMICO DE COMPUESTOS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Elemento	Wt %	Mol %
MgO	27.4	45.16
CaO	32.04	37.96
Fe ₂ O ₃	40.56	16.88
Total	100.00	100.00

Fuente: Presente Investigación

8.1.14. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA CALCINADA A 1000°C.

En la Figura Nº 17, se aprecia la presencia de Minerales de Portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) con 57%, Periclasa Sintética (MgO), con 51% y Calcita ($\text{Ca}(\text{CO}_3)$) con 36%.

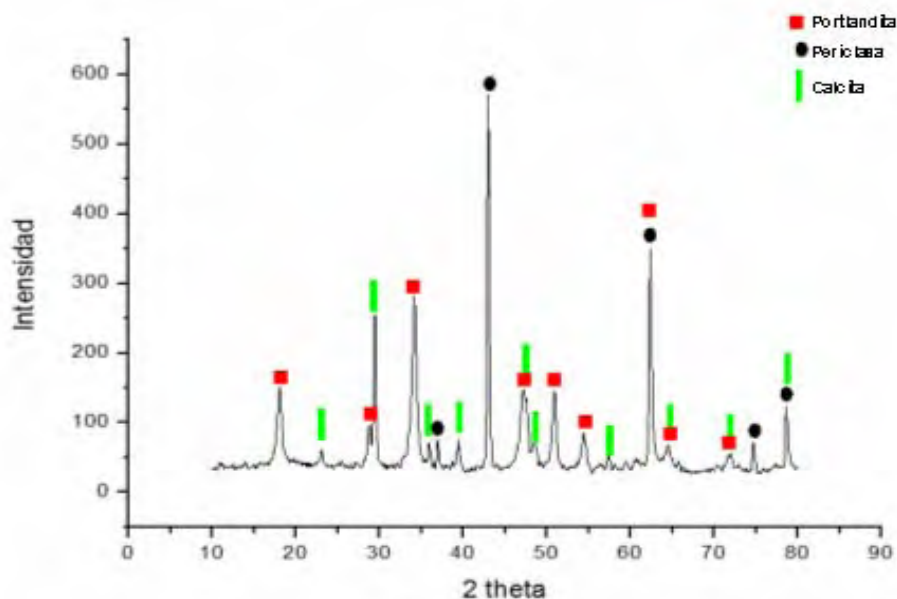


FIGURA Nº 17: DIFRACTOGRAMA DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA CALCINADA A 1000°C POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X.

8.1.15. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE LODO DE EFLUENTE METALÚRGICO TRATADO CON DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA CALCINADA 1000°C

En la Figura N° 18, se aprecia la presencia de Nitruro de Carbono (C_3N_4) con un contenido de 53%, Yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) con 45%, Hidruro de Cromo (Cr_2H) con 31%, Complejo de Cobre-Cobalto-Aluminio ($Al_{65}Co_{15}Cu_{20}$) con 31%, Óxido de Cobre de Lantano y Estroncio ($La_{1.894}Sr_{0.106}CuO_4$) con 27%, Saneroita ($Na_2Mn_{10}VSi_{11}O_{34}(OH)_4$) con 18%, Hidrato de Carbonato de Hidróxido de Zinc y Aluminio ($Zn_{0.67}Al_{0.33}(OH)_2(CO_3)_{0.165} \cdot xH_2O$) con 31%, Hidróxido de Fosfato de Calcio y Estroncio ($Ca_5Sr_5(PO_4)_6(OH)_2$) con 26%, Sulfuro de Floruro de Cobre y Mercurio ($Hg_2Cu_2F_6S$) con 23%, Hidrato de Sulfirto de Zinc ($ZnSO_3 \cdot 2.5H_2O$) con 22%, Wittita ($Pb_{2.3}Bi_{2.7}Se_{1.3}S_{5.1}$) con 25%, Óxido de Talio- Lantano-Estroncio-Cobre-Calcio ($Tl_2Sr_2Ca_2La_{1.5}Cu_3O_{12.25}$) con 33%, Óxido de Iterbio-Galio-Cobre ($YbGaCuO_4$) con 31%, Óxido de Neodimio-Aluminio-Calcio ($NdCaAl_3O_7$) con 25% y Teluro de Cobre-Bario-Cesio ($Cs_2BaCu_8Te_{10}$) con 31%.

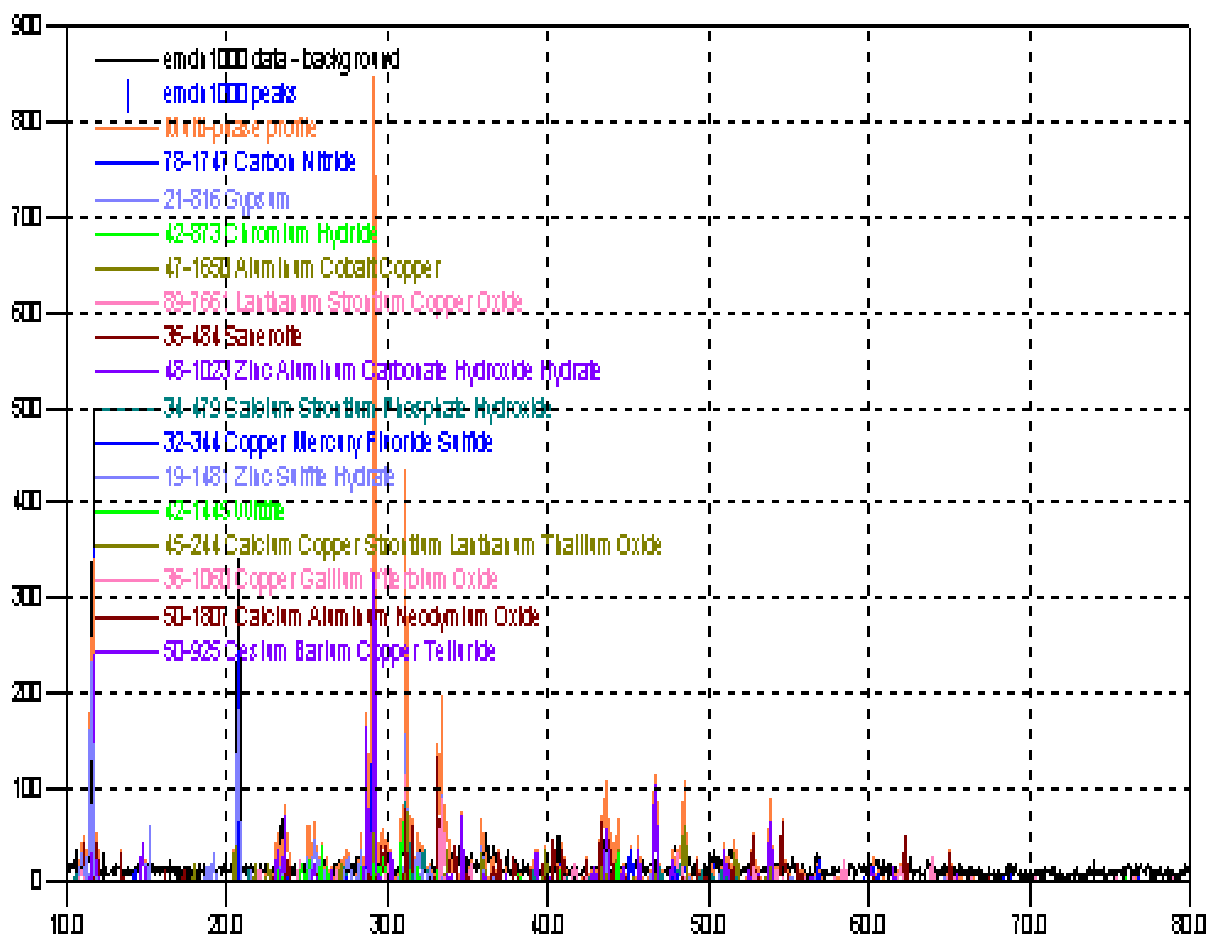


FIGURA N° 18: DIFRACTOGRAMA DE LODO DE EFLUENTE METALÚRGICO TRATADO CON DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA CALCINADA A 1000°C

CAPITULO IX

PRUEBAS METALÚRGICAS EXPERIMENTALES

9.1. EL DISEÑO EXPERIMENTAL

Involucra etapas de realización de actividades de generación de efluentes metalúrgicos con alto contenido de cobre provenientes de procesos metalúrgicos tales como los Procesos Hidrometalúrgicos y los de Flotación; así como su respectivo tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos con énfasis en la reducción de la concentración de ión cobre a nivel de laboratorio Metalúrgico y Químico con realización de pruebas de validación del tratamiento de remediación con dolomita, el cual será aplicado a efluentes metalúrgicos provenientes de Plantas Concentradoras de Procesos Metalúrgicos, con el propósito de determinar la efectividad del nuevo tratamiento.

9.1.1. EQUIPOS Y REACTIVOS.

MATERIALES:

- Mineral Sulfurado de Cobre: Calcopirita.
- Dolomita.
- Efluente Metalúrgico de Lixiviación y Flotación.
- Probeta.
- Vasos de Precipitado.
- Pipeta.
- Piceta.
- Pastilla Magnética
- Agua destilada
- Vaso de Precipitado
- Tubos de Ensayo
- Copelas.
- Probeta
- Espátula

- Floculante.
- Balde
- Papel de Filtro
- Guantes y mandil para tostación.

EQUIPOS:

- Chancadora Primaria de Quijada,
- Chancadora Secundaria de Rodillos.
- Molino de Bolas.
- Mallas Serie Tyler.
- Rot up.
- Mufla
- Agitador de Rodillo.
- Balanza.
- Celda de Flotación Denver.
- Horno de Tostación.
- Espectrofotómetro
- Agitador Magnético.

9.1.2. ACTIVIDADES DESARROLLADAS.

Para poder llevar a cabo las actividades que involucra el diseño experimental se tiene en cuenta las actividades de gabinete y las actividades de carácter experimental.

9.1.2.1. ACTIVIDADES DE GABINETE.

Abarcan actividades de recolección de la información relacionada con el tratamiento de efluentes metalúrgicos con dolomita, procesamientos de datos de la tesis y el análisis de los resultados. Estas actividades se realizan de manera previa y durante el trabajo experimental.

9.1.2.2. ACTIVIDADES EXPERIMENTALES.

La ejecución de las actividades desarrolladas en cada prueba experimental involucran la estrategia del Diseño Experimental. A continuación se citará las principales actividades desarrolladas durante la presente Tesis.

9.1.2.2.1. EN EL LABORATORIO DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO. Se procedió a realizar las siguientes actividades:

- Caracterización Mineralógica Inicial de Muestras de Dolomita de Agregados Calcáreos y Dolomita Natural de Tingo María en estado sin calcinar.
- Caracterización Mineralógica de Muestras Calcinadas de Dolomita de Agregados Calcáreos y Dolomita Natural de Tingo María a las temperaturas de 1000°C, siendo la temperatura de calcinación de 1000°C, la más óptima en cuanto al tratamiento de remediación para reducir la concentración de cobre.

9.1.2.2.2. EN EL LABORATORIO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X.

Se procedió a realizar las siguientes actividades:

- Caracterización Inicial Por Técnica de Difracción de Rayos X de Muestras de Dolomita de Agregados Calcáreos y Dolomita Natural de Tingo María en estado sin calcinar.
- Caracterización Por Técnica de Difracción de Rayos X de Muestras Calcinadas de Dolomita de Agregados Calcáreos y Dolomita Natural de Tingo María a las temperaturas de 1000°C, siendo la temperatura de calcinación de 1000°C, la más óptima en cuanto al tratamiento de remediación para reducir la concentración de cobre.

9.1.2.2.3. GENERACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO DE LIXIVIACIÓN SULFATO DE COBRE:

Se realizan las siguientes actividades (Ver Figura N° 22)

9.1.2.2.3.1. EN EL LABORATORIO METALÚRGICO.

- Preparación Mecánica de Calcopirita: Chancado Primario y Molienda.
- Análisis Granulométrico de Mineral de Calcopirita : Malla +200.
- Tostación de Pellets de Calcopirita de Malla +200 a la temperatura de 500°C, 650°C y 800°C
- Lixiviación Ácida de Pellets Tostados de Calcopirita con Ácido Sulfúrico, para la generación de solución de efluente metalúrgico de sulfato de cobre.
- Preparación Mecánica de Dolomita: Chancado Primario y Molienda.
- Análisis Granulométrico de Mineral de Dolomita: Malla +325.
- Tostación de Dolomita a temperaturas de 1000°C.

9.1.2.2.3.2. EN EL LABORATORIO QUÍMICO.

- Filtración de la Solución de Lixiviación de Sulfato de Cobre.
- Análisis Químico de Solución del Efluente Metalúrgico de Lixiviación.
- Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos de Lixiviación con Dolomita Sin Calcinar y Calcinada.

9.1.2.2.4. EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE MINERALES POLIMETÁLICOS.

Se realizan las siguientes actividades:

9.1.2.2.4.1. EN EL LABORATORIO METALÚRGICO:

- Preparación de Dolomita para Análisis por Microscopía Electrónica de Barrido.
- Tostación de Dolomita a 1000°C

9.1.2.2.4.2. EN EL LABORATORIO QUÍMICO:

- Filtración del Efluente Metalúrgico de Flotación,
- Análisis Químico ICP inicial del Efluente Metalúrgico de Flotación.
- Tratamiento de Remediación de Efluente de Flotación con Dolomita Sin Calcinar y Calcinada.

Cabe resaltar que la estrategia de investigación del estudio involucra que durante el diseño experimental se analizaron las condiciones óptimas de los parámetros así como de las variables determinantes dependientes e independientes del proceso para reducir la concentración de iones cobre.

Siendo los parámetros y las variables independientes y dependientes las siguientes:

PARÁMETROS:

- Condición de Empleo de la Dolomita (calcinada ó sin calcinar).
- Tiempo de tostación de la dolomita.
- Volumen de Efluente Metalúrgico: Flotación y Lixiviación.

VARIABLES INDEPENDIENTES:

- Concentración inicial de cobre en el efluente metalúrgico.
- Tamaño de partícula de dolomita.
- Temperatura de tostación de la dolomita.
- Relación sólido-líquido.
- Velocidad de Agitación de la Mezcla: RPM.
- Tiempo de agitación de la mezcla (Efluente Metalúrgico con dolomita).

VARIABLES DEPENDIENTES:

- Concentración final de cobre en el Efluente de Proceso Hidrometalúrgico y Flotación.

Asimismo, se realizó el análisis de las curvas de cinética de adsorción de cobre presente en el sistema (efluente metalúrgico), las cuales indican la reducción

de la concentración de ión cobre disuelto inicialmente presente en el efluente metalúrgico hasta valores cercanos a los indicados por los Niveles Maximos Permisibles de Emisión para las Unidades Minero-Metalúrgicas (1 ppm) que exige el Ministerio de Energía y Minas según Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM.

Deduciendo, de esta manera, que la dolomita empleada en esta técnica, es un reactivo, el cual es elaborado en nuestro país y a la vez se le estaría dando un valor agregado en su uso en aplicación de este tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos.

9.1.3. PROCESAMIENTO METALÚRGICO DE MINERAL SULFURADO DE COBRE DE CALCOPIRITA PARA OBTENCIÓN DE SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE:

El Procesamiento Metalúrgico del Mineral Sulfurado de Calcopirita, se realiza con las operaciones de Molienda y Tostación de Calcopirita,

9.1.3.1. MOLIENDA- TOSTACIÓN- LIXIVIACIÓN DE CALCOPIRITA

Cabe resaltar que las operaciones de Molienda-Tostación-Lixiviación de Calcopirita, se realizan con la finalidad de generar el Efluente Metalúrgico de Lixiviación de Mineral de Calcopirita, que es una solución de sulfato de cobre, al cual denominaremos Efluente Metalúrgico-UNMSM.

En ese sentido, es que se proceden a realizar las siguientes Operaciones Unitarias:

Las Operaciones Unitarias de Molienda de Mineral de Calcopirita se realizan con la finalidad de reducir el tamaño de partícula, y lograr la mayor liberación de cobre presente en el mineral sulfurado, siendo el tiempo de molienda óptimo, el de 16 minutos, esta operación unitaria se verifica a través del Análisis Granulométrico aplicado al Mineral de Calcopirita. Luego, de liberado el mineral de cobre se procede al proceso de Tostación de Calcopirita, a las temperaturas de 500°C y 650°C.

Posteriormente, se procederá a la lixiviación de mineral sulfurado de cobre, con la finalidad de generar el Efluente Metalúrgico de Lixiviación de Cobre, la Solución de Sulfato de Cobre, con diferentes concentraciones de cobre, desde, 0.5 gr/Lt, 1 gr/Lt. Estas Soluciones de Sulfato de Cobre se denominarán **EFLUENTE METALÚRGICO-UNMSM**.

GENERACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO-UNMSM: SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE

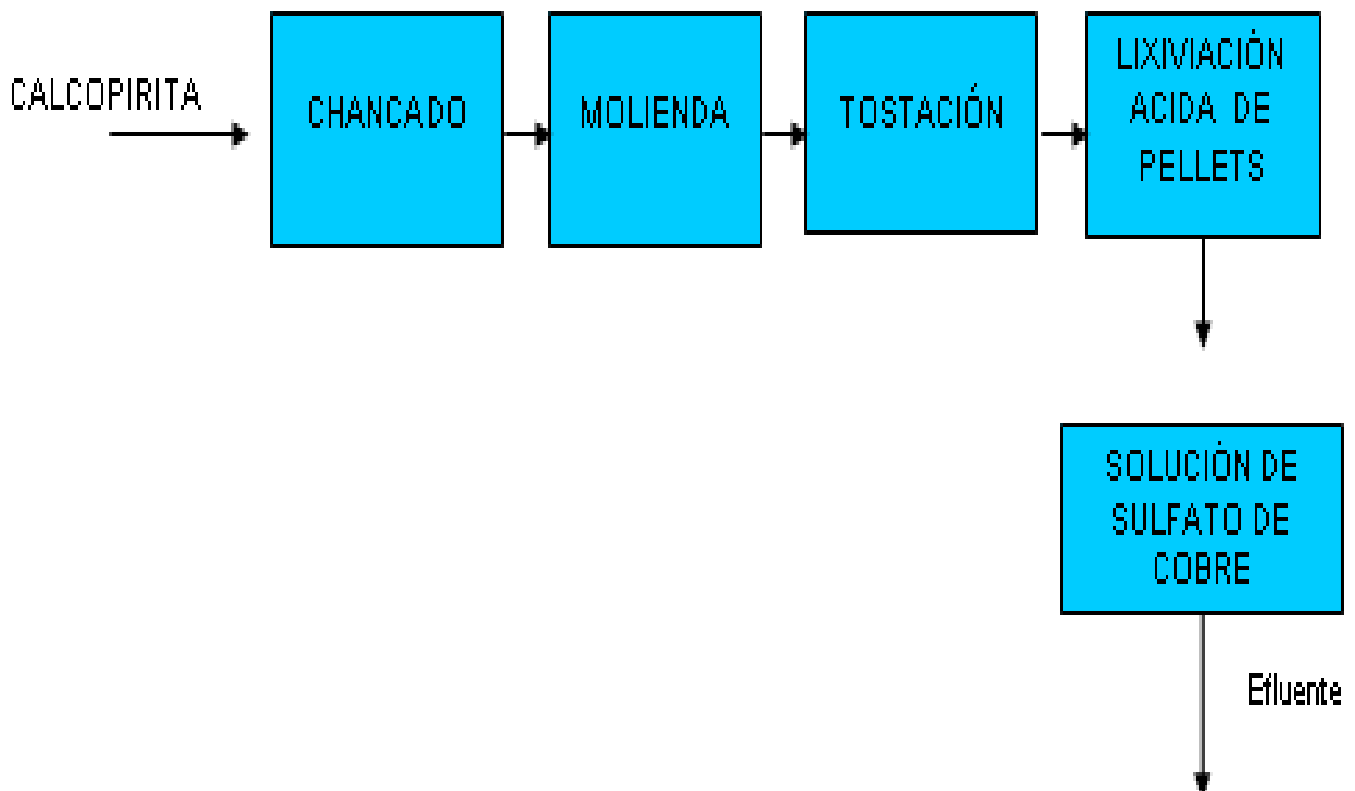


FIGURA Nº 19: DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE GENERACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO DE LIXIVIACIÓN DE MINERAL TOSTADO DE CALCOPIRITA, SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE

9.1.3.1.1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE MINERAL DE CALCOPIRITA MOLIDA DURANTE 16 MINUTOS.

MALLA	ABERTURA (um)	MOLIENDA 16 MINUTOS			
		PESO	% PESO	% Ac(+)	%Ac(-)
42	350	6.2	0.97	0.97	99.03
50	297	3	0.47	1.44	98.56
80	177	125.3	19.59	21.03	78.97
100	149	35	5.47	26.51	73.49
150	105	1.3	0.20	26.71	73.29
200	74	255.5	39.95	66.66	33.34
325	44	187	29.24	95.90	4.10
-325	44	26.2	4.10	100.00	0.00
Total		639.5	100.00		

Fuente: Presente Investigación

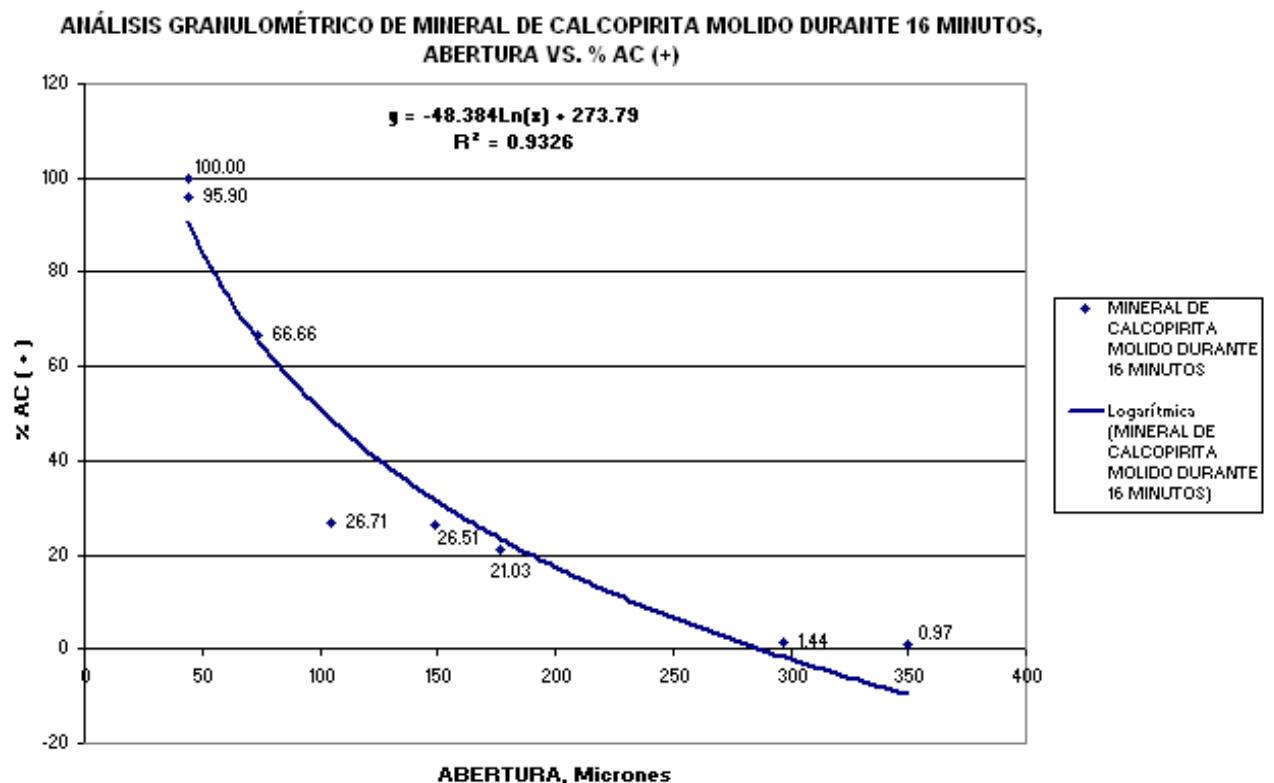


FIGURA Nº 20: CURVA DE ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE MINERAL DE CALCOPIRITA MOLIDA DURANTE 16 MINUTOS, ABERTURA VS. % Ac(+)

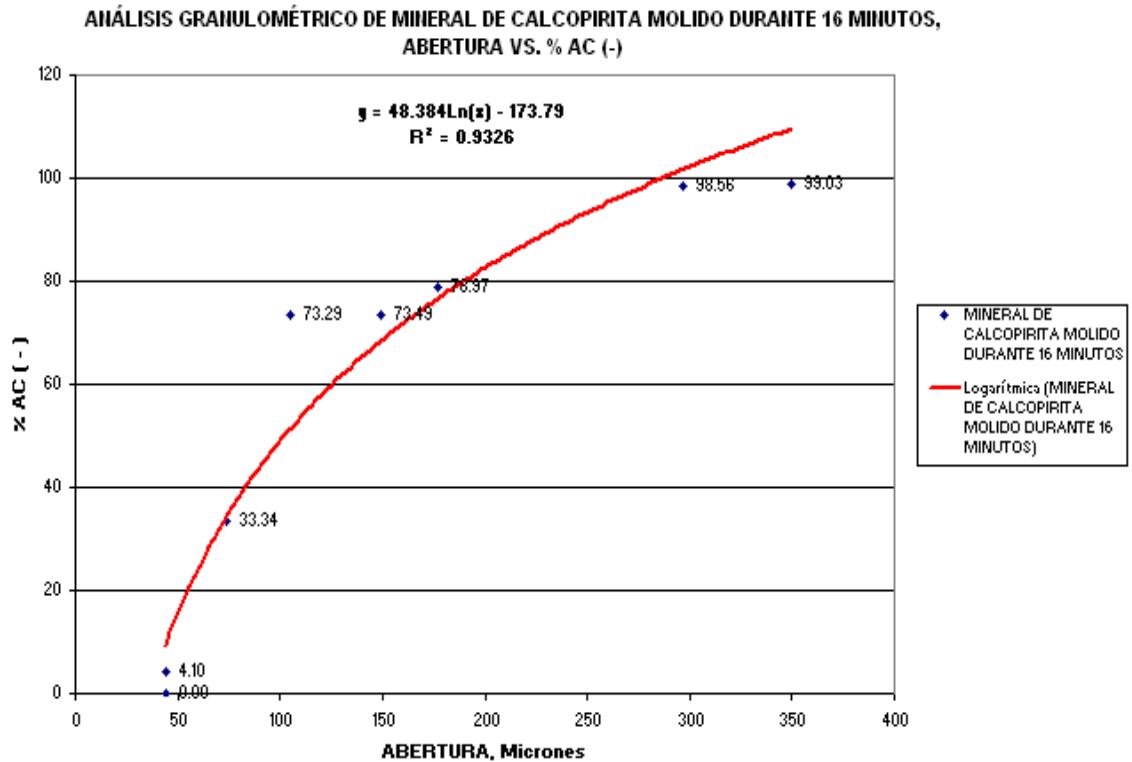


FIGURA Nº 21: CURVA DE ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE MINERAL DE CALCOPIRITA MOLIDA DURANTE 16 MINUTOS, ABERTURA VS. % Ac(-)

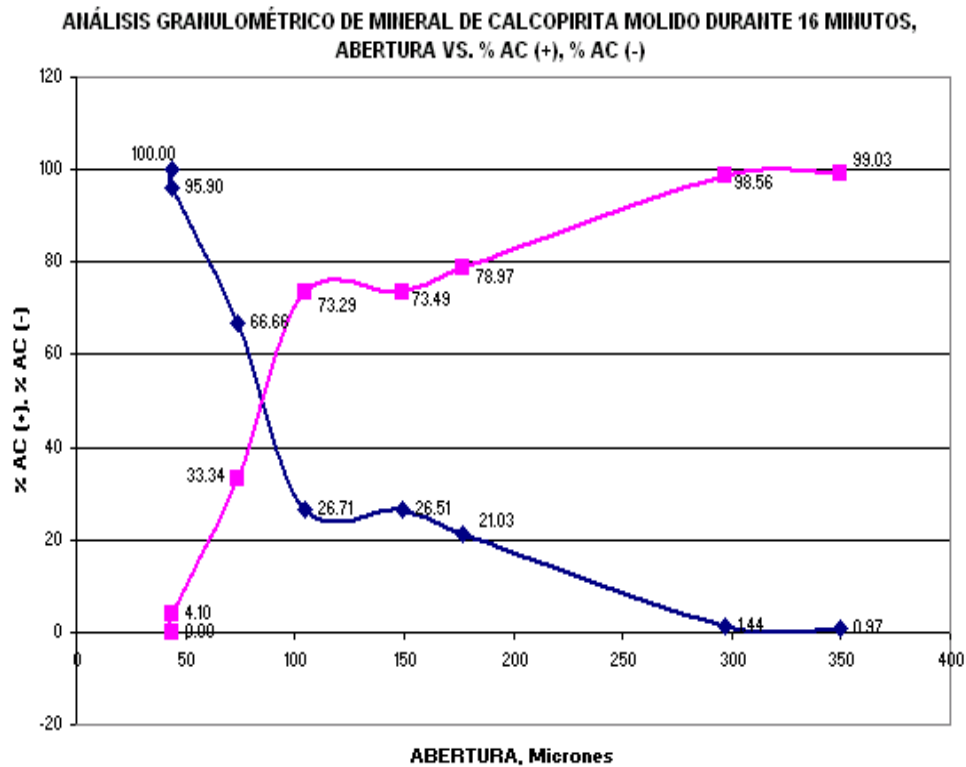


FIGURA Nº 22: CURVA DE ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE MINERAL DE CALCOPIRITA MOLIDA DURANTE 16 MINUTOS, ABERTURA VS. %Ac(+) y % Ac(-)

9.1.3.2. TOSTACIÓN DE PELLETS DE CALCOPIRITA.

9.1.3.2.1. OBJETIVOS:

1. Visualizar el proceso de tostación de la calcopirita a escala laboratorio.
2. Realizar pruebas experimentales de tostación de calcopirita para un rango de tamaños de mineral en función del tiempo: Malla: +200, teniendo en cuenta las temperaturas de descomposición de la calcopirita: 650°C.
3. Procesar los datos de tostación de los pellets de calcopirita sometidos a diferentes Temperaturas, con la finalidad de elaborar curvas de cinética de tostación, para determinar el comportamiento del mineral a diferentes Temperaturas.

9.1.3.2.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Para el Desarrollo del Procedimiento Experimental de la Tostación de Pellets de Calcopirita, se tuvo en cuenta los siguientes materiales:

EQUIPOS:

- Horno eléctrico.

MATERIALES:

- Mineral: Oxidado, Sulfurado de Cobre
- Copelas
- Espátula.
- Bandejas.
- Brocha.

9.1.3.2.3. CINÉTICA DE TOSTACIÓN DE PELLET DE MINERAL SULFURADO DE COBRE

CONDICIÓN DE MUESTRA: PELLET TOSTADO DE MINERAL SULFURADO DE COBRE

TIEMPO DE MOLIENDA : 16 MINUTOS

MALLA : +200

TIEMPO DE TOSTACIÓN: 10, 30, 60 MINUTOS

TEMPERATURA DE TOSTACIÓN: 650°C

PELLETS DE CALCOPIRITA TOSTADOS A 650°C						
Nº MALLA	TIEMPO DE MOLIENDA (min)	TEMPERATURA DE TOSTACIÓN DE PELLET(°C)	TIEMPO DE TOSTACIÓN DE PELLET	PESO INICIAL DE PELLET	PESO FINAL DE PELLET	FRACCIÓN REACCIONADA
+200	16	650	10	14,8	14,1	0,7
+200	16	650	30	15,2	14,3	0,9
+200	16	650	60	15,4	14,3	1,1

Fuente: Presente Investigación

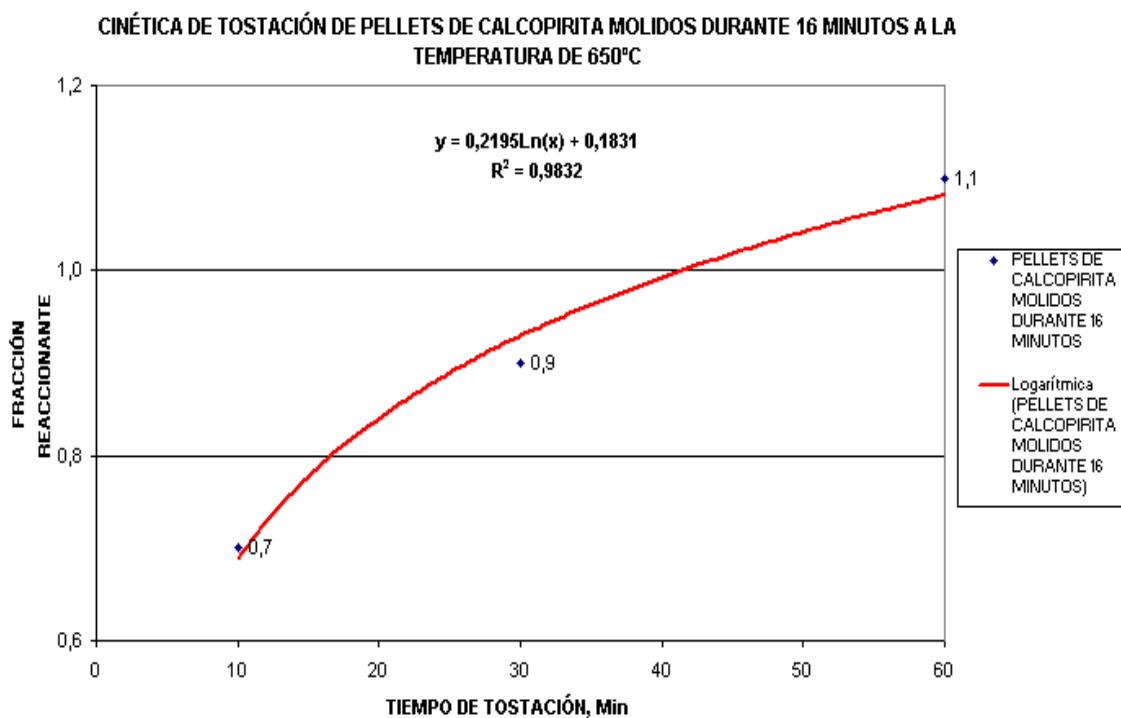


FIGURA Nº 23: CINÉTICA DE TOSTACIÓN DE PELLET DE MINERAL SULFURADO DE COBRE TOSTADO A 650°C

9.1.3.3. LIXIVIACIÓN DE PELLETS TOSTADOS DE CALCOPIRITA

9.1.3.3.1. OBJETIVOS:

1. Visualizar el proceso de Lixiviación de Pellets tostados de la calcopirita a escala laboratorio.
2. Realizar pruebas experimentales de lixiviación de pellets tostados de calcopirita para un rango de tamaños de mineral en función del tiempo, teniendo en cuenta la lixiviación a temperatura ambiente y la lixiviación en caliente.
3. Procesar los datos de la lixiviación de la tostación de los pellets de calcopirita sometidos a diferentes temperaturas, con la finalidad de elaborar curvas de cinética de lixiviación.

9.1.3.3.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Para el Desarrollo del Procedimiento Experimental de la Lixiviación de Pellets de Calcopirita Tostados, se tuvo en cuenta los siguientes materiales:

EQUIPOS:

- Agitador Magnético.
- Espectrofotómetro.

MATERIALES:

- Mineral: Oxidado, Sulfurado de Cobre
- Vaso de Precipitado.
- Pastilla Magnética.
- Papel Filtro.
- Embudo.
- Espátula.
- Bandejas.
- Brocha.

9.1.3.3.3. PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN DE PELLETS TOSTADOS DE CALCOPIRITA

A. LIXIVIACIÓN DE PELLETS DE CALCOPIRITA TOSTADOS A 650°C

CONDICIÓN DE MUESTRA: PELLET TOSTADO DE MINERAL SULFURADO DE COBRE
 MALLA: +200
 TIEMPO DE TOSTACIÓN: 10 MINUTOS
 TEMPERATURA DE TOSTACIÓN: 650°C

SISTEMA DE MINERAL SULFURADO DE COBRE -SOLUCIÓN LIXIVIANTE (H ₂ SO ₄ al 1%)						
Nº Malla	Tiempo (min)	Transmitancia	Absorbancia	Constante (K)	Conc. Cu en Muestra(gr/Lt)	Conc. Cu total Sistema (gr/Lt)
+200	0	52,11	0,283	0,000786	0,360	1,621
+200	10	15,30	0,815	0,000786	1,037	4,668
+200	20	15,90	0,799	0,000786	1,016	4,572

Fuente: Presente Investigación

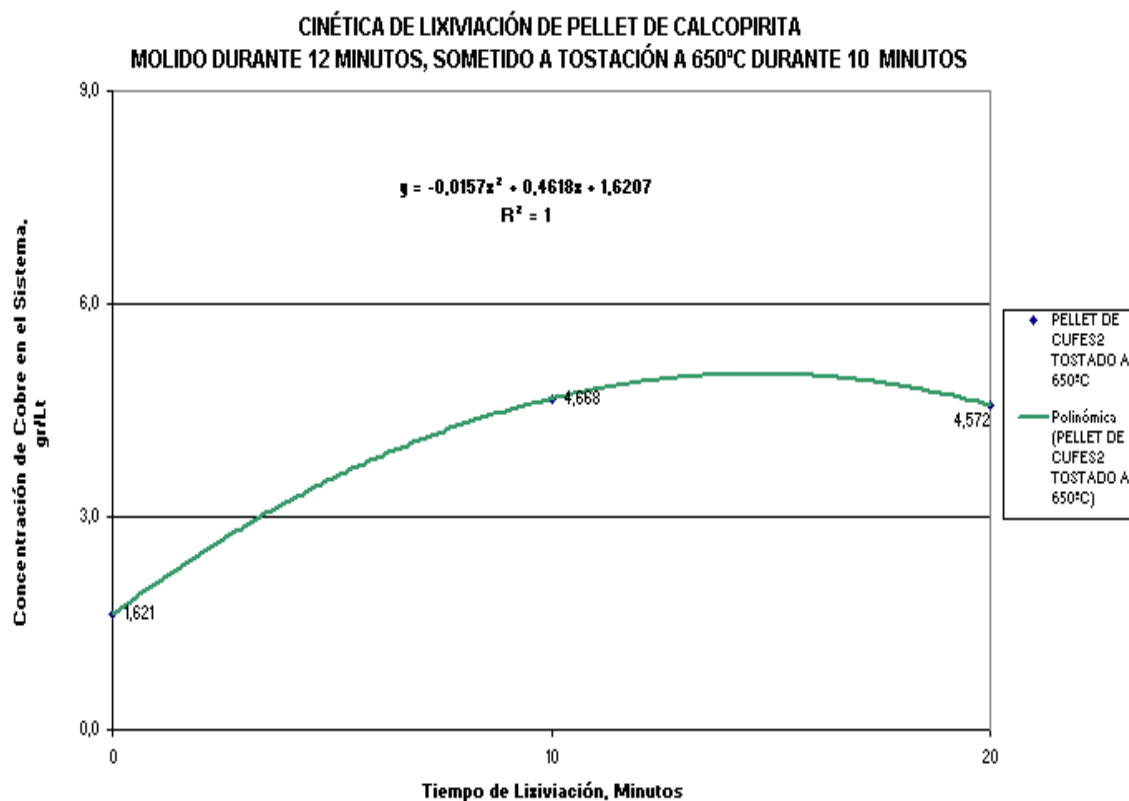


FIGURA Nº 24: CINÉTICA DE LIXIVIACIÓN DE PELLETS DE CALCOPIRITA TOSTADOS A 650°C

B. LIXIVIACIÓN DE PELLETS DE CALCOPIRITA TOSTADOS A 650°C

CONDICIÓN DE MUESTRA: PELLET TOSTADO DE MINERAL SULFURADO DE COBRE
 MALLA: +200
 TIEMPO DE TOSTACIÓN: 20 MINUTOS
 TEMPERATURA DE TOSTACIÓN: 650°C

SISTEMA DE MINERAL SULFURADO DE COBRE -SOLUCIÓN LIXIVIANTE (H2SO4 al 1%)						
Nº Malla	Tiempo (min)	Transmitancia	Absorbancia	Constante (K)	Conc. Cu en Muestra(gr/Lt)	Conc. Cu total Sistema (gr/Lt)
+200	0	71	0,149	0,000786	0,189	0,852
+200	10	28,3	0,548	0,000786	0,697	3,139
+200	30	30,2	0,520	0,000786	0,662	2,977

Fuente: Presente Investigación

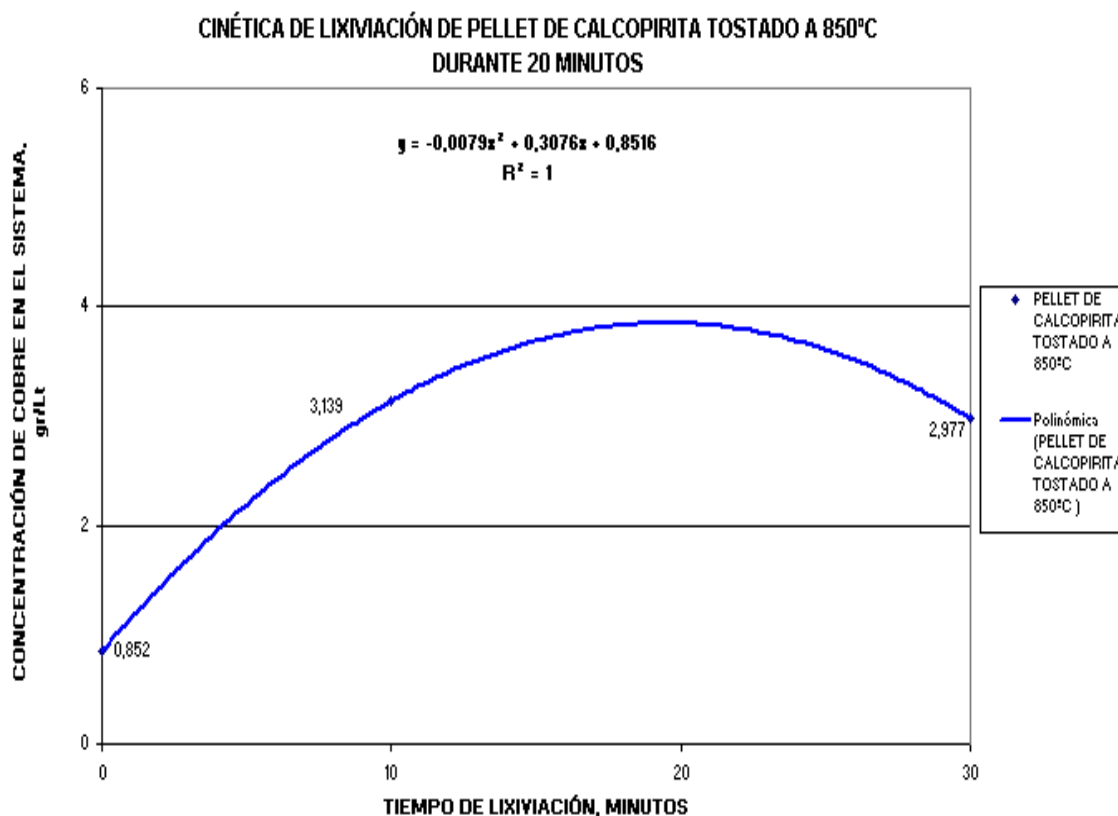


FIGURA Nº 25: CINÉTICA DE LIXIVIACIÓN DE PELLETS DE CALCOPIRITA TOSTADOS A 650°C

**TABLA Nº 12: SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE CON
CONCENTRACIÓN DE COBRE DE 1.28 g/L**

CONCENTRACIÓN INICIAL DE COBRE EN SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE, (gr/Lt)	CONCENTRACIONES DE COBRE EN SOLUCIONES DILUÍDAS DE SULFATO DE COBRE, (g/L)
1.28	1
1.28	0.5

**TABLA Nº 13: SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE CON
CONCENTRACIÓN DE COBRE DE 3.6 g/L**

CONCENTRACIÓN INICIAL DE COBRE EN SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE, (g/L)	CONCENTRACIONES DE COBRE EN SOLUCIONES DILUÍDAS DE SULFATO DE COBRE, (g/L)
3.6	1
3.6	0.5

9.1.4. PROCESAMIENTO METALÚRGICO DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA:

DIAGRAMA DE FLUJO: CHANCADO-MOLIENDA- TOSTACIÓN.

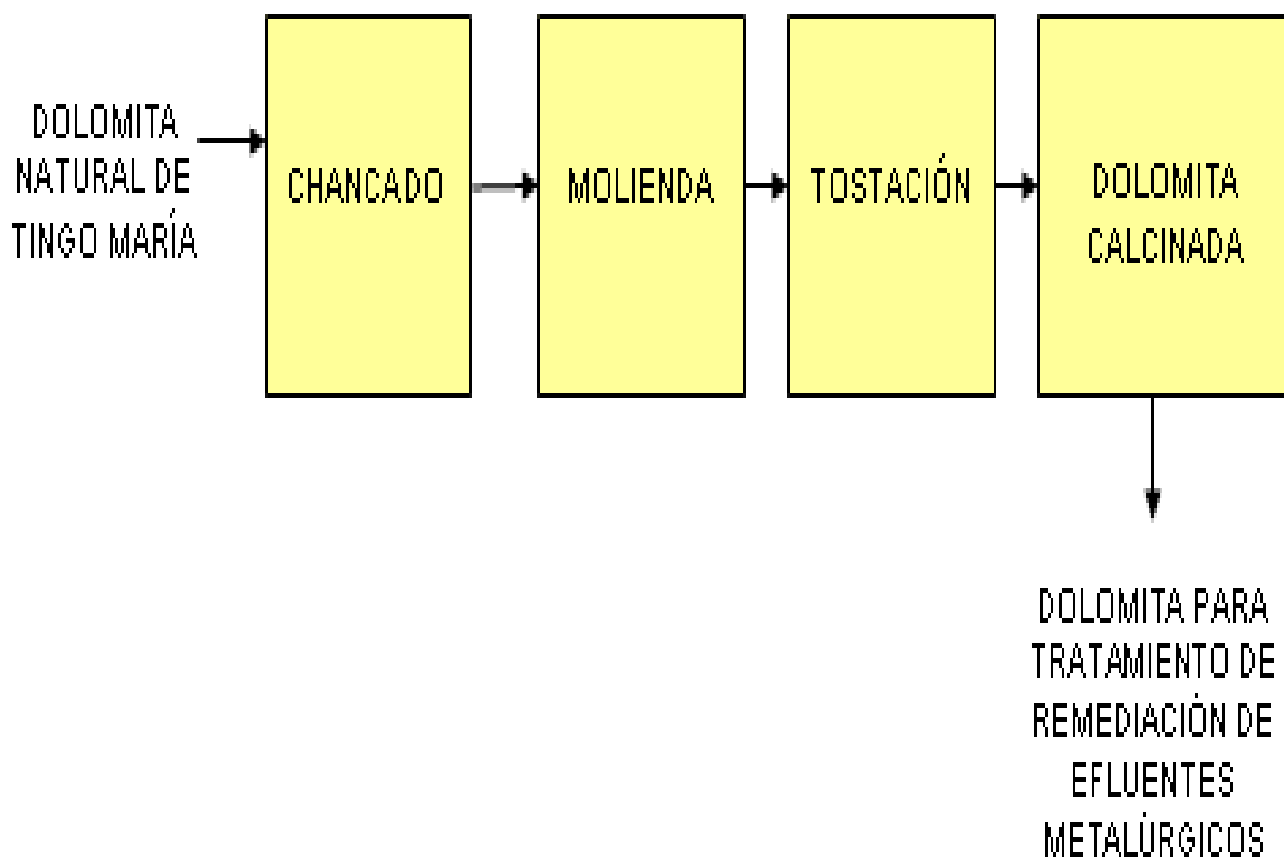


FIGURA Nº 26: DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESAMIENTO METALÚRGICO: PREPARACIÓN MECÁNICA Y TOSTACIÓN DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA

9.1.4.1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE MINERAL DE DOLOMITA

Condiciones de la Prueba:

Mineral: Dolomita

Peso Inicial de Dolomita: 768.3 g

Peso Final de Dolomita: 760.5 g

MALLA	ABERTURA (μm)	MOLIENDA 30 MINUTOS			
		PESO	% PESO	% Ac(+)	%Ac(-)
80	177	47	6.18	6.18	93.82
100	149	77	10.12	16.31	83.69
200	74	406.5	53.45	69.76	30.24
325	44	204	26.82	96.58	3.42
-325	44	26	3.42	100.00	0.00
Total		760.5	100.00		

Fuente: Presente Investigación

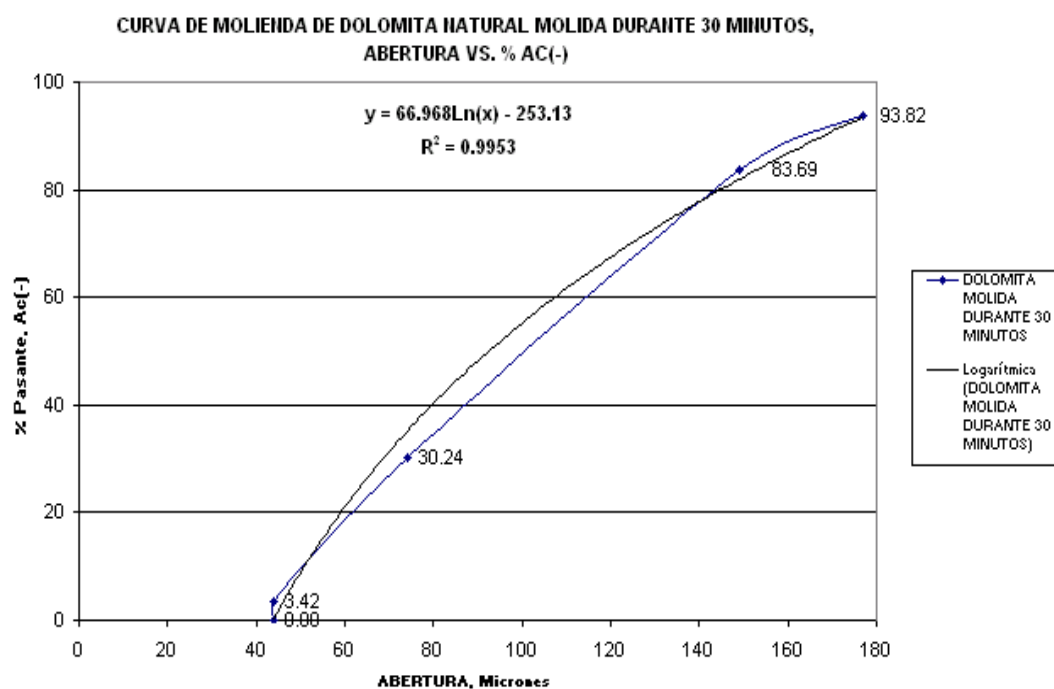


FIGURA Nº 27: CURVA DE ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE MINERAL DE DOLOMITA MOLIDO DURANTE 30 MINUTOS, ABERTURA Vs. %Ac(-)

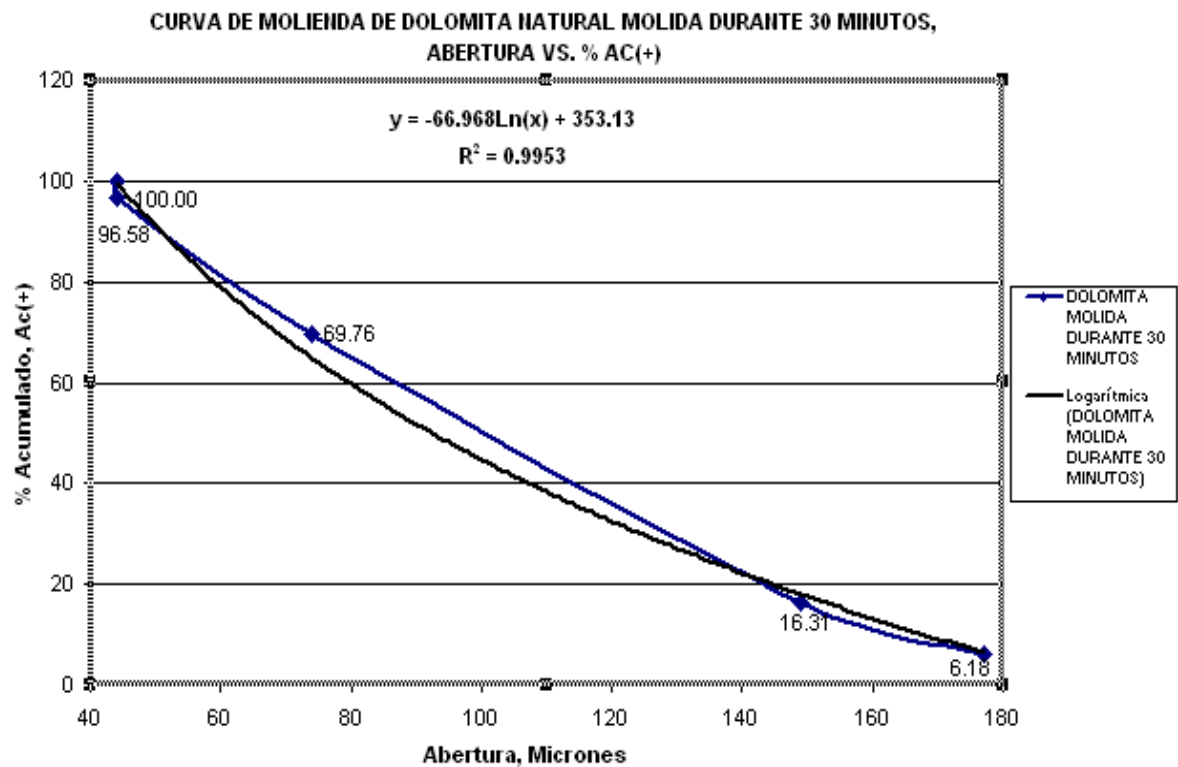


FIGURA Nº 28: CURVA DE ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE MINERAL DE DOLOMITA MOLIDO DURANTE 30 MINUTOS, ABERTURA Vs. %Ac(+)

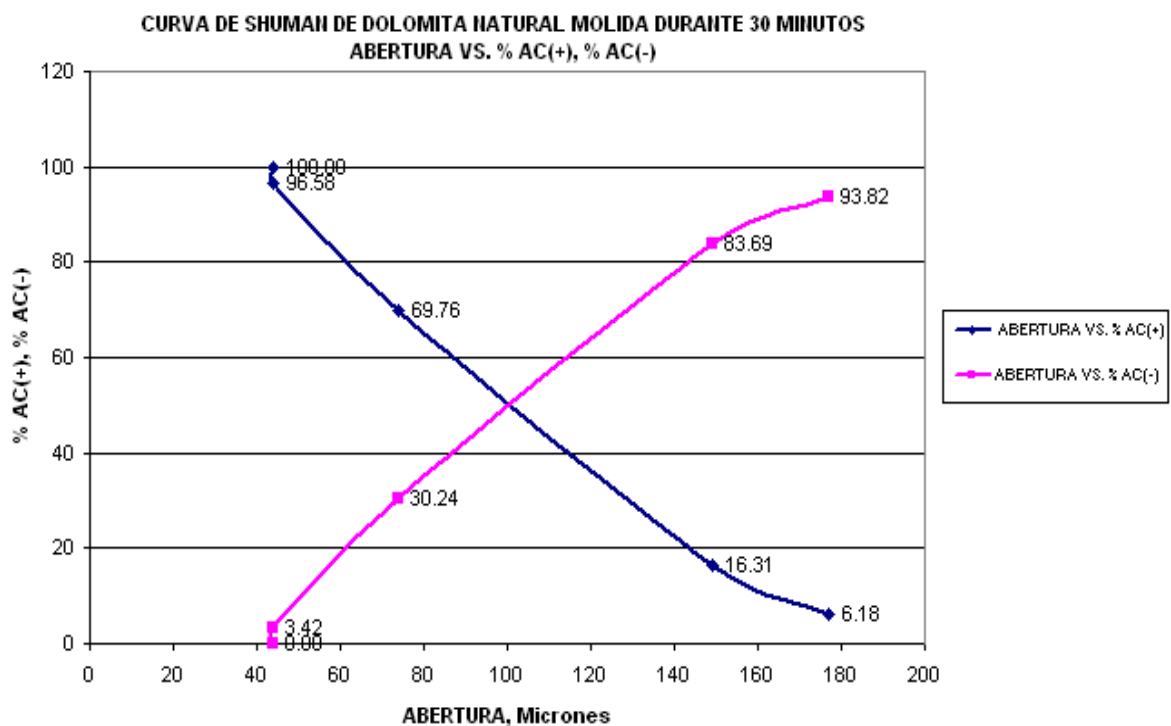


FIGURA Nº 29: CURVA DE ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE MINERAL DE DOLOMITA MOLIDO DURANTE 30 MINUTOS, ABERTURA Vs. %Ac(-), %Ac(+)

9.1.4.2. PRUEBAS METALÚRGICAS DE TOSTACIÓN DE PELLETS DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA

A. PRUEBAS METALÚRGICAS DE TOSTACIÓN DE PELLETS DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA

Malla: +325

Temperatura: 1000°C

K= 0,001276794

Tiempo(Min)	Peso Pellet Inicial	Peso Pellet Final	ΔW	α	1- α	- Ln (1- α)
0				0,0000	1,000	0,0000
180	4	2,5859	1,4141	0,3535	0,646	0,4362
240	4	2,5613	1,4387	0,3597	0,640	0,4458

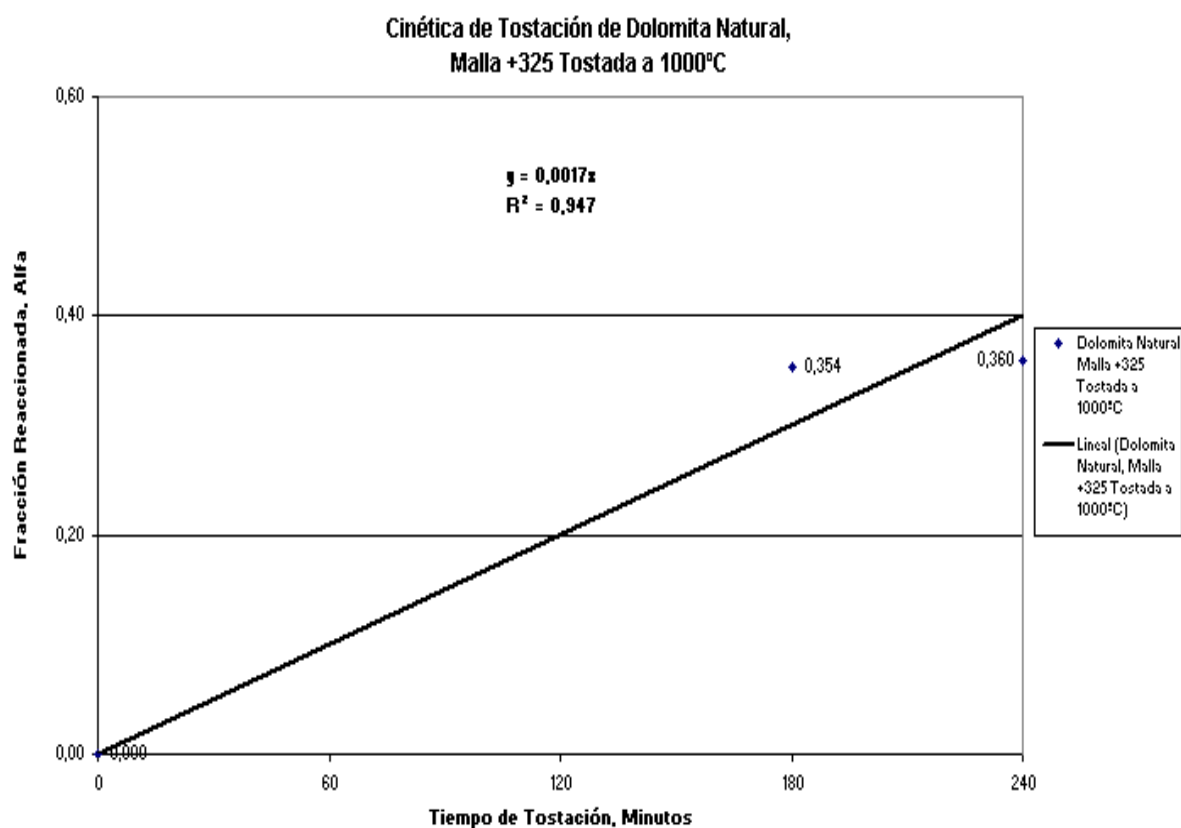
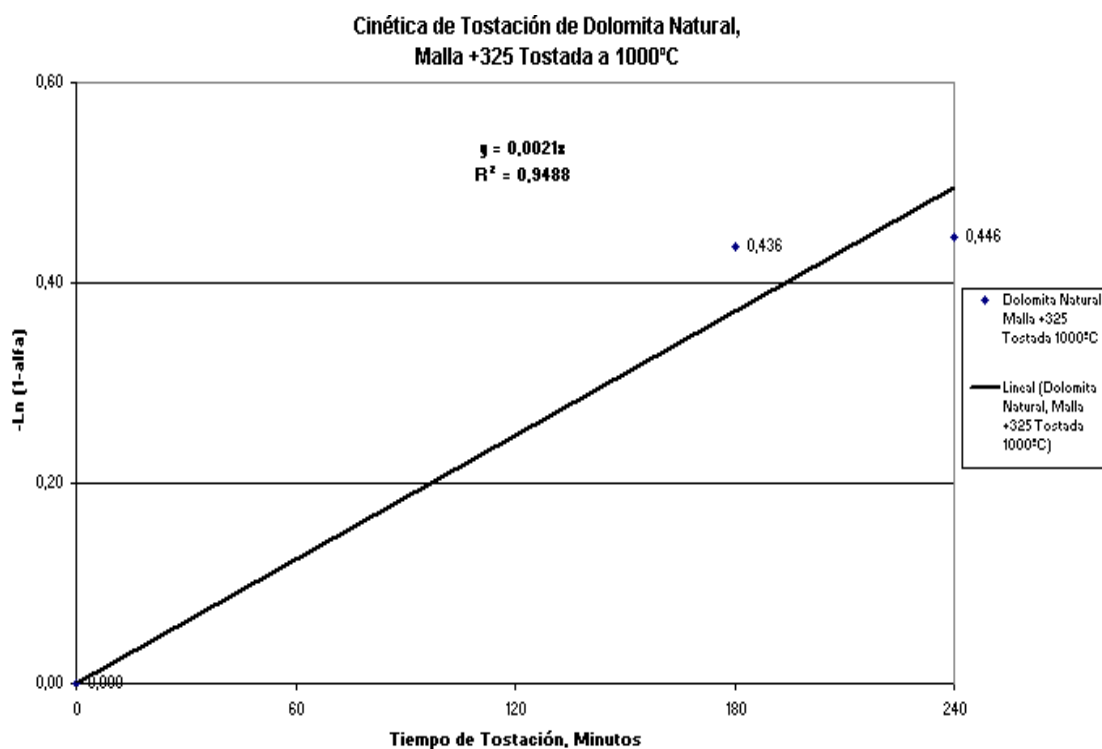


FIGURA Nº 30: CINÉTICA DE TOSTACIÓN DE PELLETS DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA, MALLA: +325



**FIGURA Nº 31: CINÉTICA DE TOSTACIÓN DE PELLETS DE DOLOMITA NATURAL DE
TINGO MARÍA, MALLA: +325**

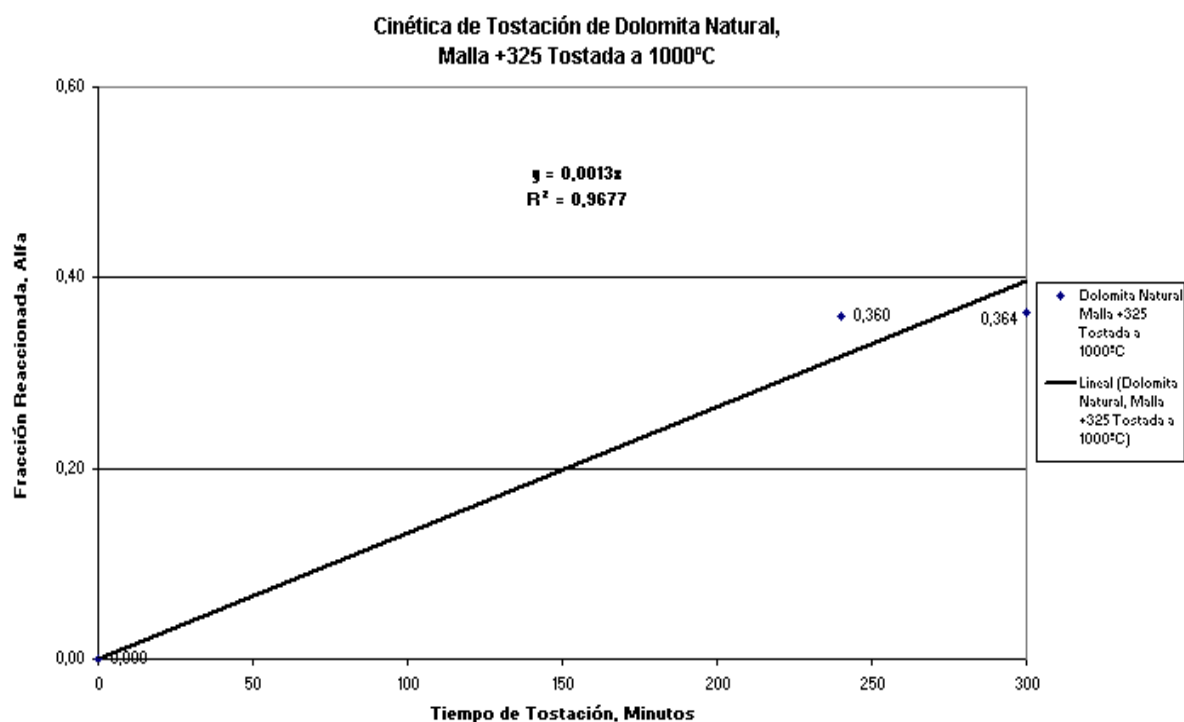
B. PRUEBAS METALÚRGICAS DE TOSTACIÓN DE PELLETS DE DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA

Malla: +325

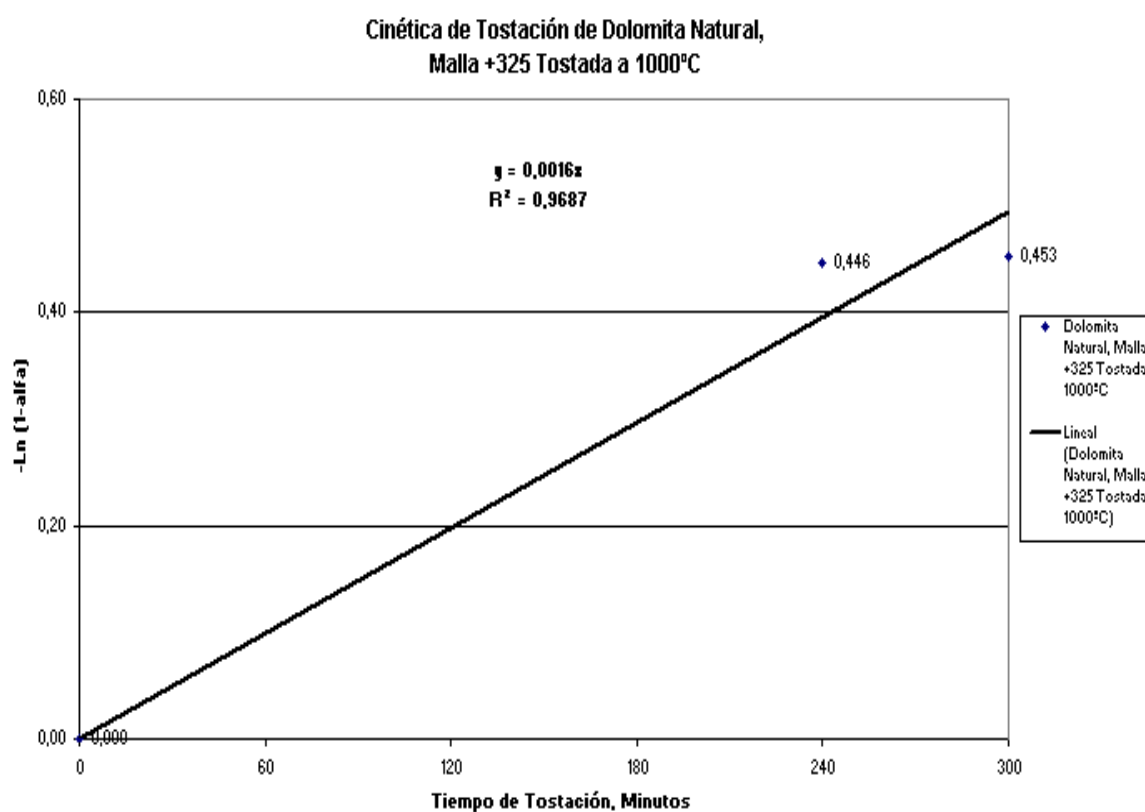
Temperatura: 1000°C

K= 0,001276794

Tiempo(Min)	Peso Pellet Inicial	Peso Pellet Final	ΔW	α	1- α	- Ln (1- α)
0				0,0000	1,000	0,0000
240	4	2,5613	1,4387	0,3597	0,640	0,4458
300	4	2,5421	1,4579	0,3645	0,636	0,4533



**FIGURA Nº 32: CINÉTICA DE TOSTACIÓN DE PELLETS DE DOLOMITA NATURAL DE
TINGO MARÍA, MALLA: +325**



**FIGURA Nº 33: CINÉTICA DE TOSTACIÓN DE PELLETS DE DOLOMITA NATURAL DE
TINGO MARÍA, MALLA: +325**

EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN-PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI

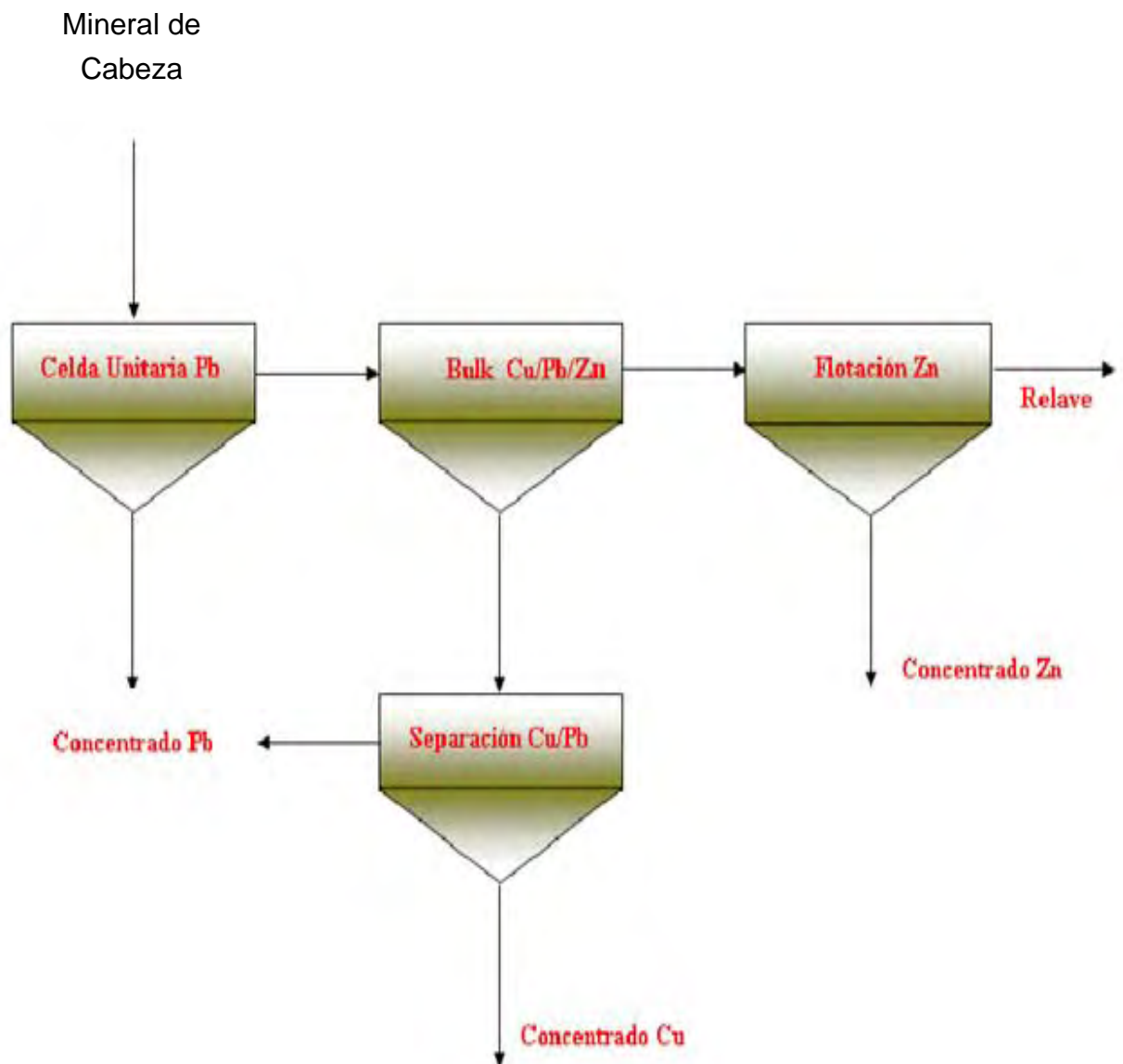


FIGURA Nº 34: DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCEDENCIA DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI

9.1.5. PRUEBAS EXPERIMENTALES DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS DE FLOTACIÓN Y DE LIXIVIACIÓN.

9.1.5.1. TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI TRATADO CON DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA EN ESTADO CALCINADO

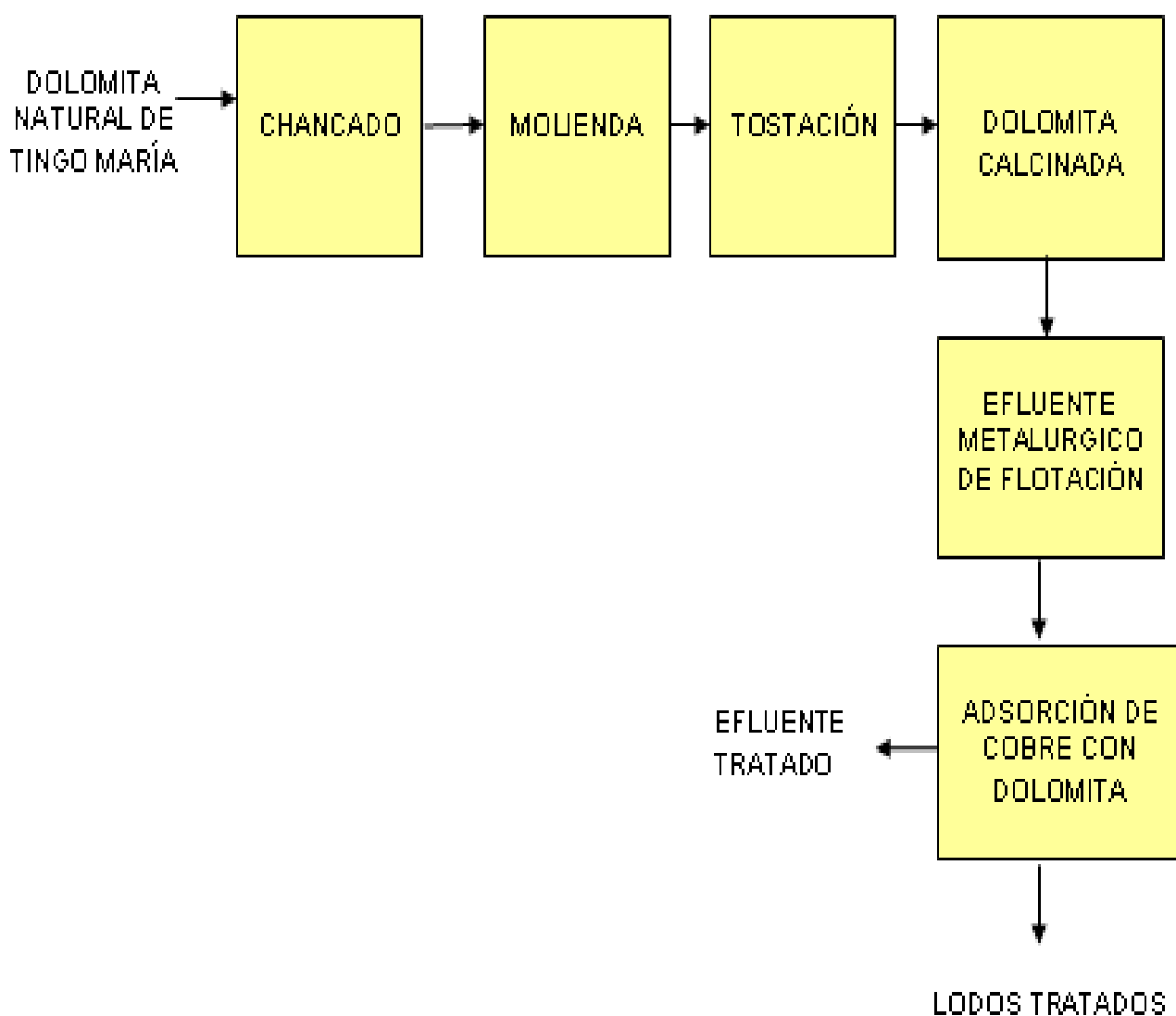


FIGURA Nº 35: DIAGRAMA DE FLUJO DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI TRATADO CON DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA

9.1.5.1.1. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA

Condiciones de la Prueba:

Dolomita: Natural
 Peso de dolomita: 2 gr
 Tiempo de Molienda: 30 minutos
 Malla : +325
 Estado de Dolomita: Calcinada
 Temperatura de Tostación: 800°C
 RPM: 525
 Volumen de Solución Lixivante= 100 ml de Efluente de Planta UNI
 pH Inicial de la Solución de Lixiviación: 3
 pH Final de la Solución de Lixiviación: 7
 Porcentaje de Reducción de Cobre: 87.08%

MUESTRAS DE DOLOMITA PARA ADSORCIÓN DE COBRE (DOLOMITA CALCINADA)						
Mezcla (2 gr. Dolomita + 100 mL de Efluente de Planta UNI)						
PESO (g.)	TIEMPO (min)	TRANSMITANCIA	ABSORBANCIA	CONSTANTE (K)	Conc. Cu en Muestra (g/L)	Conc. Cu en Sistema (g/L)
2	0	69,1	0,160521953	0,000786	0,204	0,511
2	10	93,7	0,028260409	0,000786	0,036	0,090
2	15	95,3	0,020907099	0,000786	0,027	0,066

Fuente: Presente Investigación

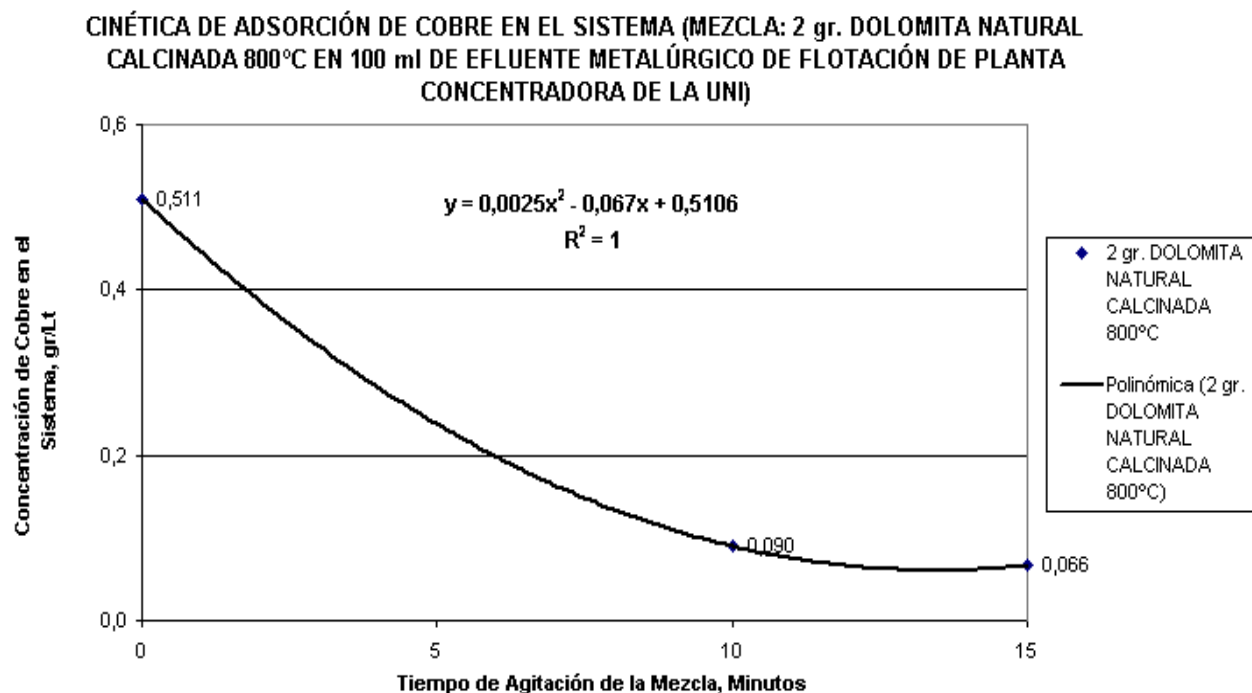


FIGURA Nº 36: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA A 800°C

9.1.5.1.2. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA

TIEMPO (min)	Conc. Cu en Sistema (g/L)	$[Cu^{+2}]/[Cu^{+2}]_0$	$\ln ((Cu^{+2})/(Cu^{+2})_0)$	Conc. Cu en Sistema Calculado (g/L)
0	0,511	1,000	0,000	0,511
10	0,090	0,176	-1,737	0,021
15	0,066	0,130	-2,038	0,007

Fuente: Presente Investigación

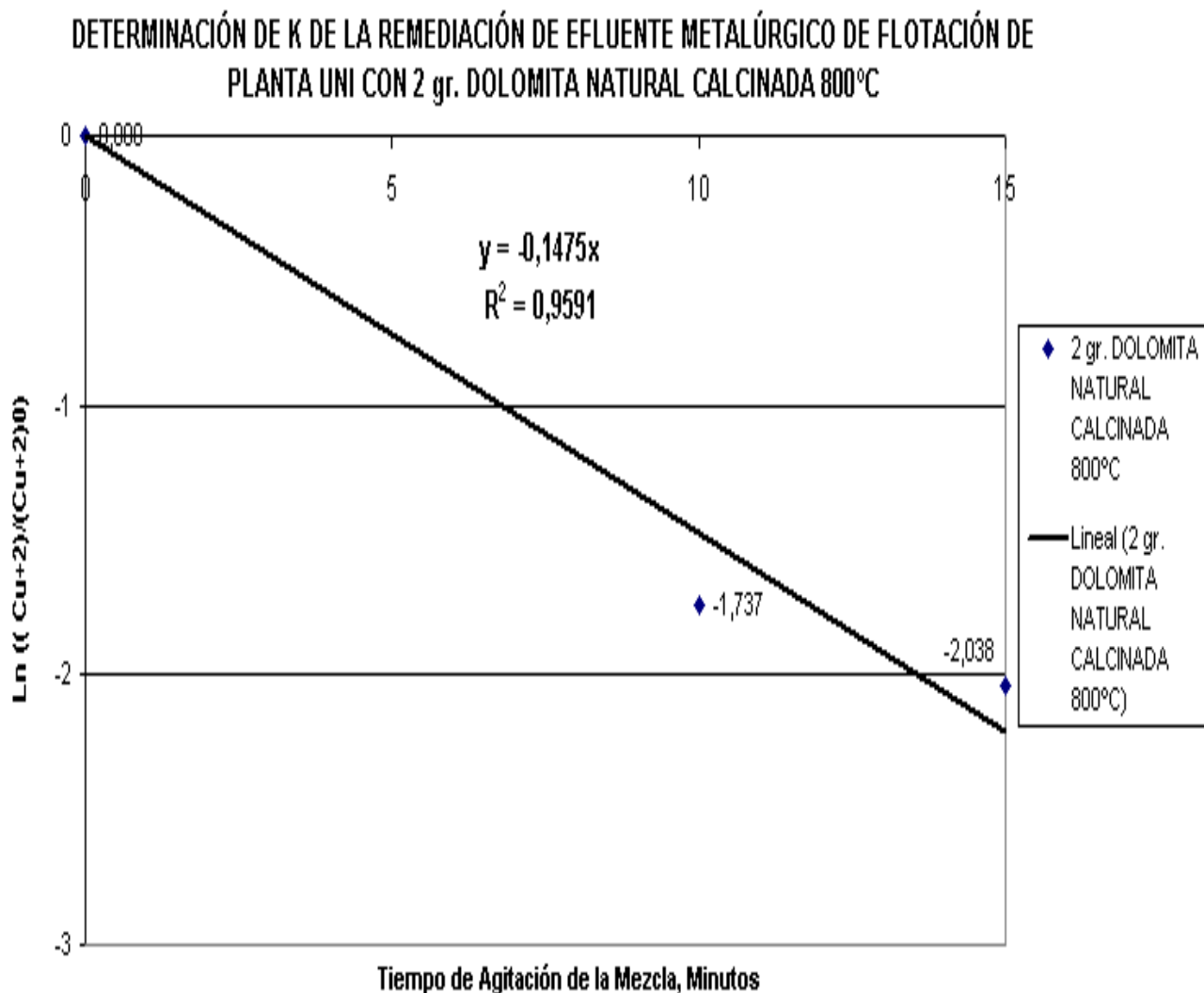


FIGURA Nº 37: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE

9.1.5.1.3. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA

Condiciones de la Prueba:

Dolomita: Natural

Peso de dolomita: 2 gr

Tiempo de Molienda: 30 minutos

Malla : +325

Estado de Dolomita: Calcinada

Temperatura de Tostación: 900°C

RPM: 525

Volumen de Solución Lixivante= 100 ml de Efluente de Planta UNI

pH Inicial de la Solución de Lixiviación: 3

pH Final de la Solución de Lixiviación: 6

Porcentaje de Reducción de Cobre: 90.44%

MUESTRAS DE DOLOMITA PARA ADSORCIÓN DE COBRE (DOLOMITA CALCINADA)						
Mezcla (2 gr. Dolomita + 100 mL de Efluente de Planta UNI)						
PESO (g.)	TIEMPO (Min)	TRANSMITANCIA	ABSORBANCIA	CONSTANTE (K)	Conc. Cu en Muestra (g/L)	Conc. Cu en Sistema (g/L)
2	0	74,4	0,128427064	0,000786	0,163	0,408
2	20	96,9	0,013676223	0,000786	0,017	0,043
2	30	97,2	0,012333735	0,000786	0,016	0,039

Fuente: Presente Investigación

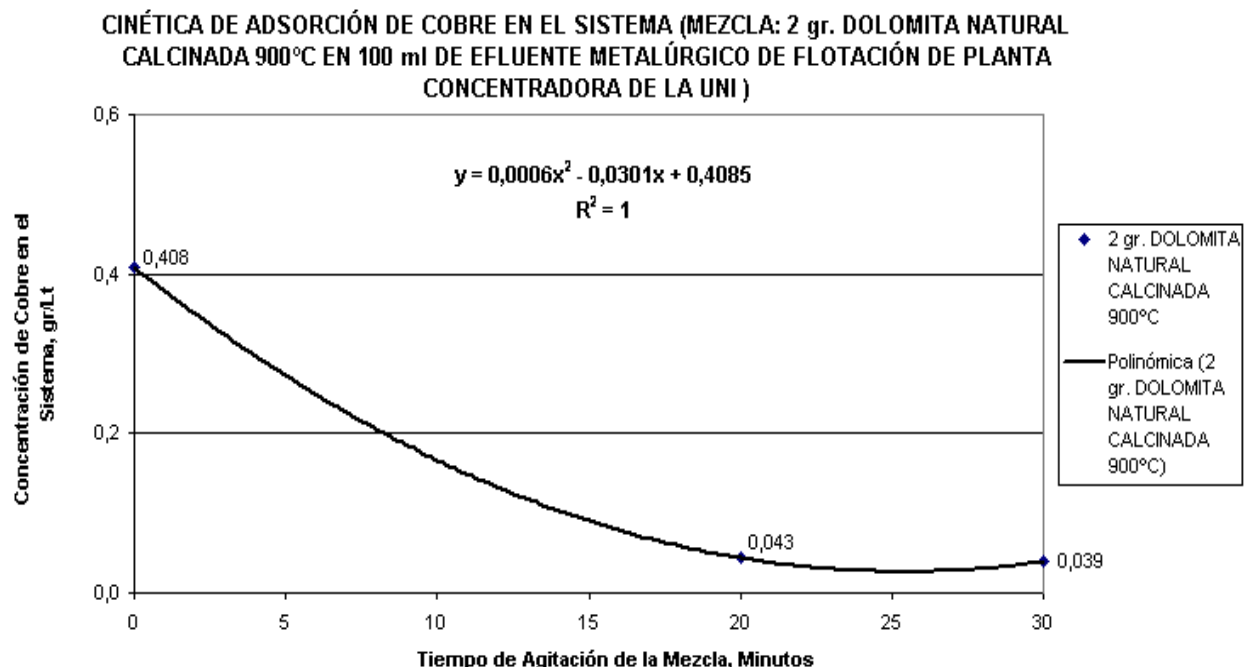


FIGURA Nº 38: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA A 900°C

9.1.5.1.4. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA

TIEMPO (min)	Conc. Cu en Sistema (g/L)	$[Cu^{+2}]/[Cu^{+2}]_0$	$\ln (Cu^{+2})/(Cu^{+2})_0$	Conc. Cu en Sistema Calculado(g/L)
0	0,408	1,000	0,000	0,408
20	0,043	0,106	-2,240	0,007
30	0,039	0,096	-2,343	0,003

Fuente: Presente Investigación

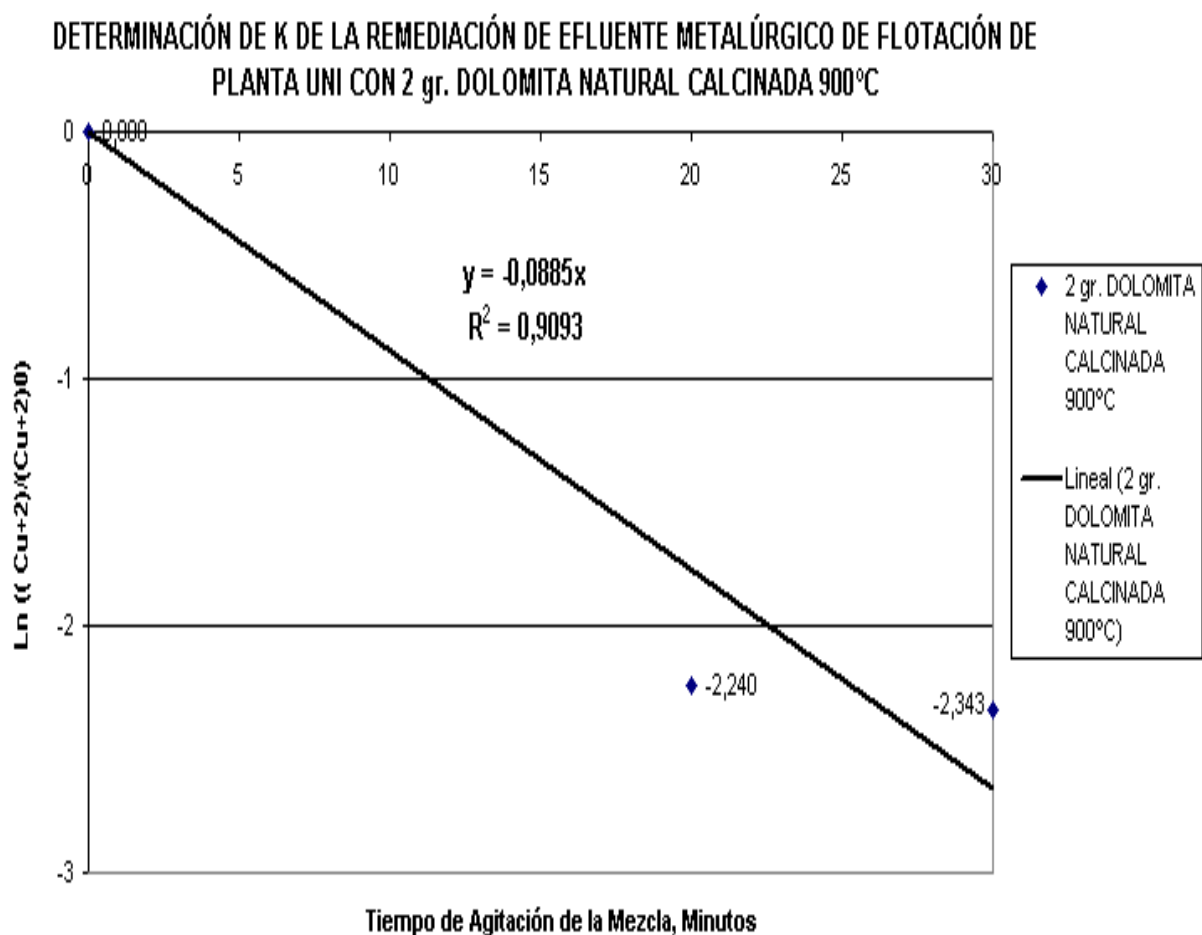


FIGURA Nº 39: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA A 900°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE

9.1.5.1.5. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA

Condiciones de la Prueba:

Dolomita: Natural

Peso de dolomita: 2 gr

Tiempo de Molienda: 30 minutos

Malla : +325

Estado de Dolomita: Calcinada

Temperatura de Tostación: 1000°C

RPM: 525

Volumen de Solución Lixivante= 100 ml de Efluente de Planta UNI

pH Inicial de la Solución de Lixiviación: 3

pH Final de la Solución de Lixiviación: 14

Porcentaje de Reducción de Cobre: 94.47%

MUESTRAS DE DOLOMITA PARA ADSORCIÓN DE COBRE (DOLOMITA CALCINADA)						
Mezcla (2 gr. Dolomita + 100 mL de Efluente de Planta UNI)						
PESO (g.)	TIEMPO (min)	TRANSMITANCIA	ABSORBANCIA	CONSTANTE (K)	Conc. Cu en Muestra (g/L)	Conc. Cu en Sistema (g/L)
2	0	66,6	0,1765258	0,000786	0,225	0,561
2	5	88,8	0,0515870	0,000786	0,066	0,164
2	10	97,8	0,0096611	0,000786	0,012	0,031

Fuente: Presente Investigación

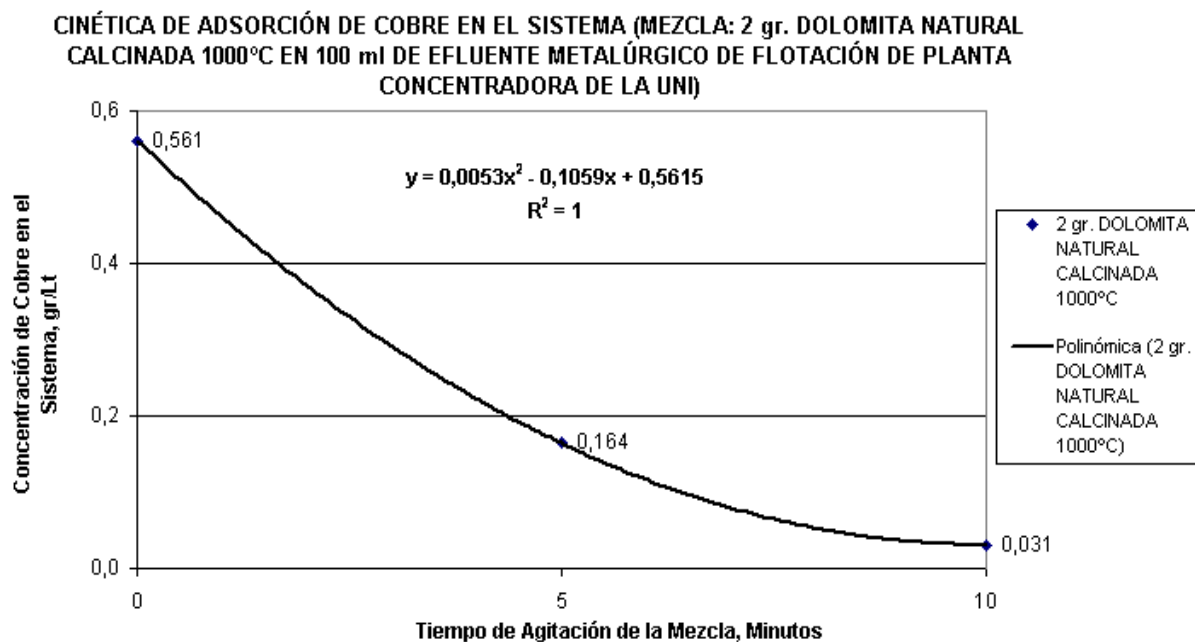


FIGURA Nº 40: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA A 1000°C

9.1.5.1.6. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA

TIEMPO (min)	Conc. Cu en Sistema (g/L)	$[Cu^{+2}]/[Cu^{+2}]_0$	$\ln ((Cu^{+2})/(Cu^{+2})_0)$	Conc. Cu en Sistema Calculado (g/L)
0	0,561	1,000	0,000	0,561
5	0,164	0,292	-1,230	0,053
10	0,031	0,055	-2,905	0,003

Fuente: Presente Investigación

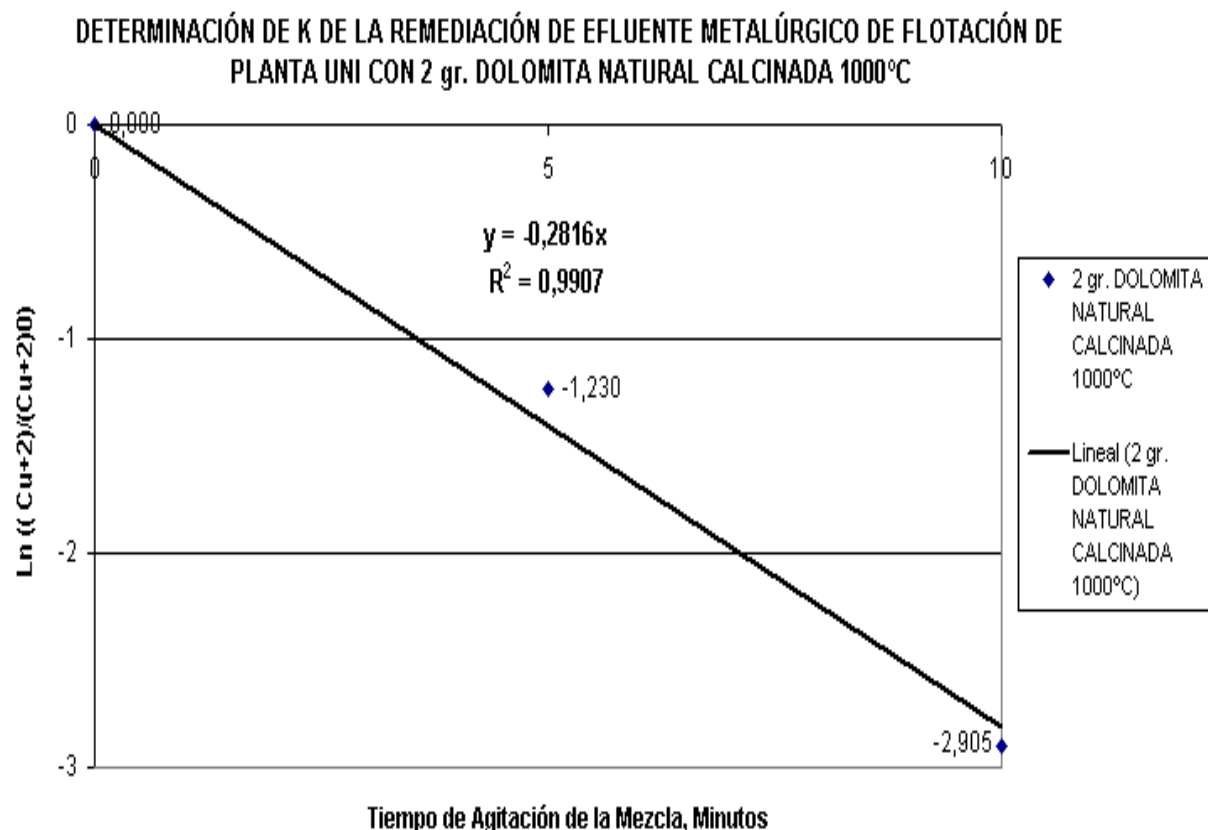


FIGURA Nº 41: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA A 1000°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE

**TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTE
METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA
CONCENTRADORA DE LA UNI CON DOLOMITA COMERCIAL
DE AGREGADOS CALCÁREOS EN ESTADO SIN CALCINAR**

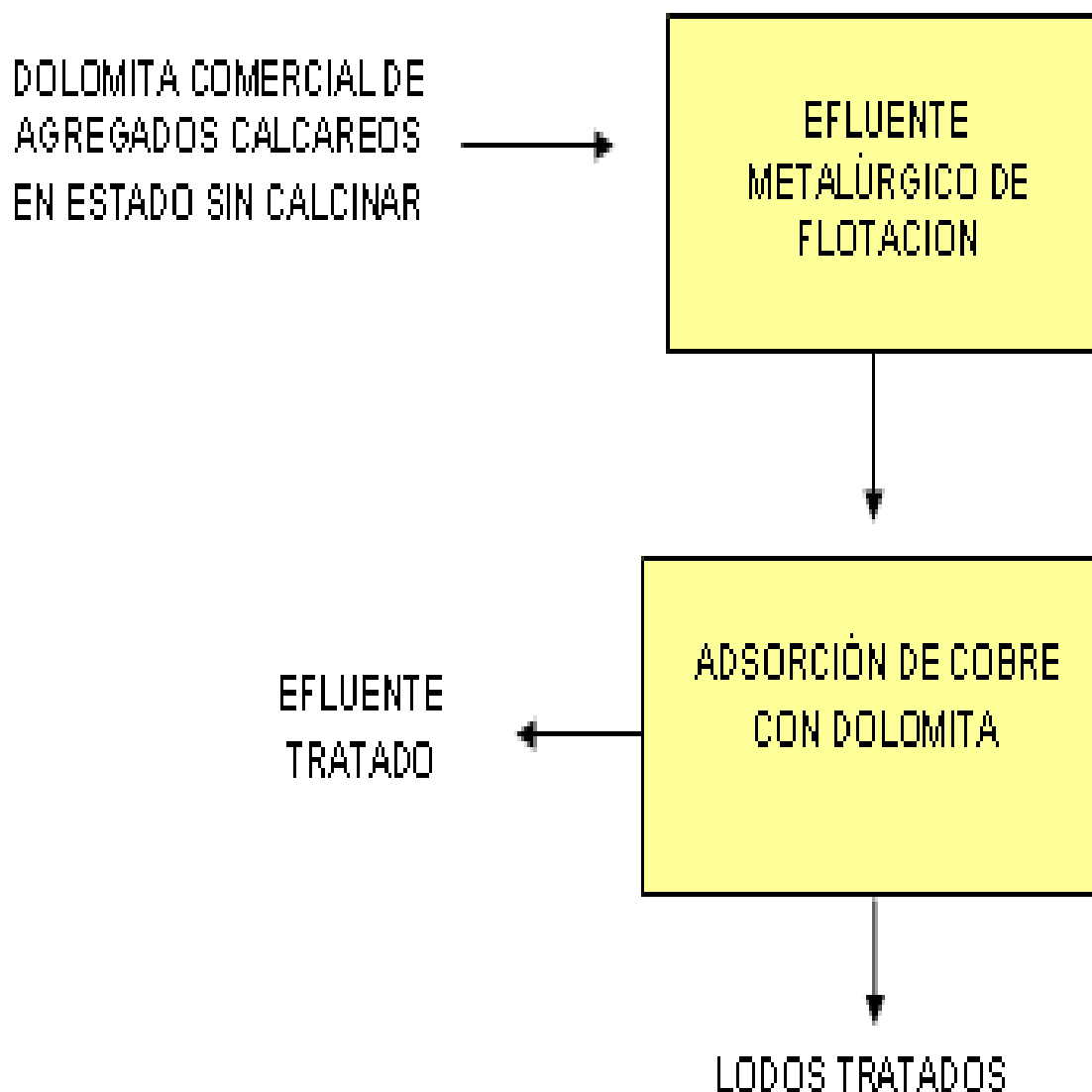


FIGURA Nº 42: DIAGRAMA DE FLUJO DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI CON DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS EN ESTADO SIN CALCINAR

**TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTE
METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA
CONCENTRADORA DE LA UNI CON DOLOMITA COMERCIAL
DE AGREGADOS CALCÁREOS EN ESTADO CALCINADO**

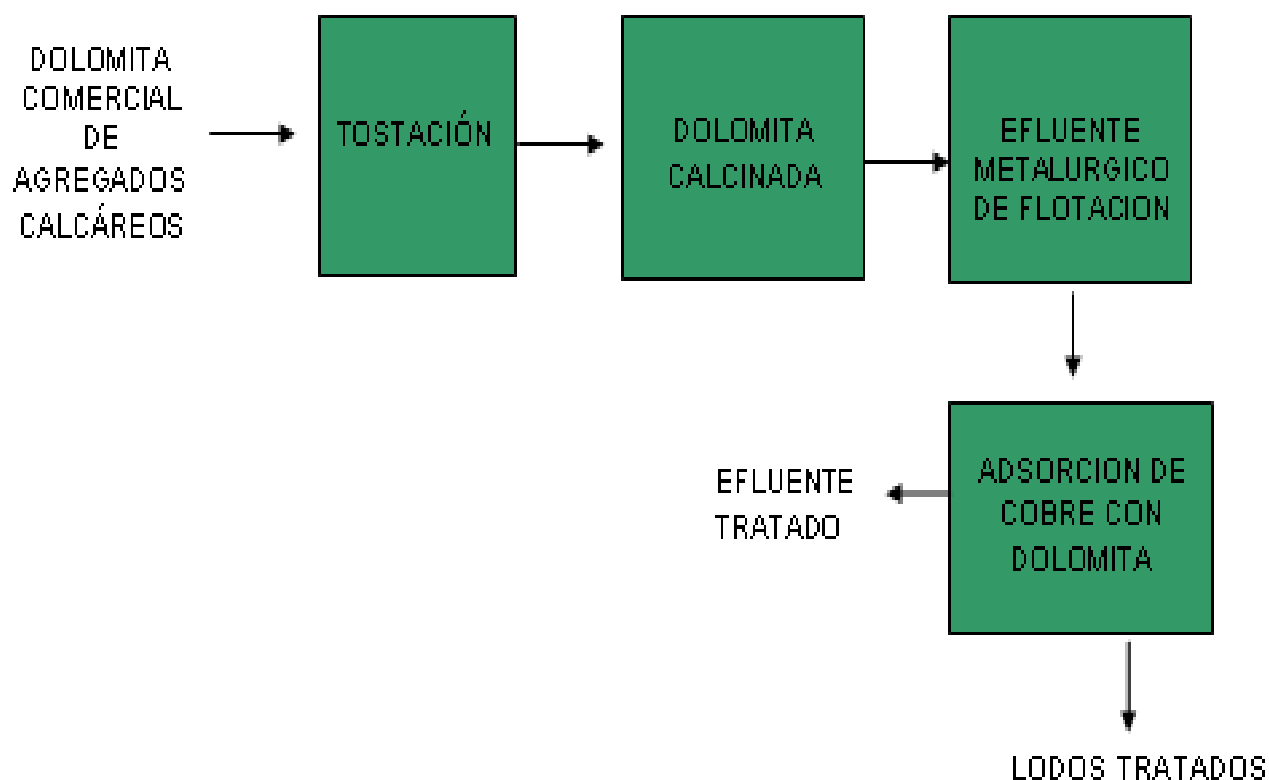


FIGURA Nº 43: DIAGRAMA DE FLUJO DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI CON DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS EN ESTADO CALCINADO

9.1.5.2. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS

9.1.5.2.1. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS SIN CALCINAR

Condiciones de la Prueba:

Dolomita: Agregados Calcáreos

Peso de dolomita: 2 gr

Tiempo de Molienda: 30 minutos

Malla : -325

Estado de Dolomita: Sin Calcinar

RPM: 525

Volumen de Solución Lixivante= 100 ml de Efluente de Planta UNI

pH Inicial de la Solución de Lixiviación: 3

pH Final de la Solución de Lixiviación: 5

Porcentaje de Reducción de Cobre: 97.39%

MUESTRAS DE DOLOMITA PARA ADSORCIÓN DE COBRE (DOLOMITA SIN CALCINAR)						
Mezcla (2 gr. Dolomita + 100 mL de Efluente de Planta UNI)						
PESO (g.)	TIEMPO (min)	TRANSMITANCIA	ABSORBANCIA	CONSTANTE (K)	Conc. Cu en Muestra (g/L)	Conc. Cu en Sistema (g/L)
2	0	82,3	0,0846002	0,000786	0,108	0,269
2	5	94,5	0,0245682	0,000786	0,031	0,078
2	10	94,6	0,0241089	0,000786	0,031	0,077
2	20	99,5	0,0021769	0,000786	0,003	0,007

Fuente: Presente Investigación

CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE EN EL SISTEMA (MEZCLA: 2 gr. DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS SIN CALCINAR EN 100 ml DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI)

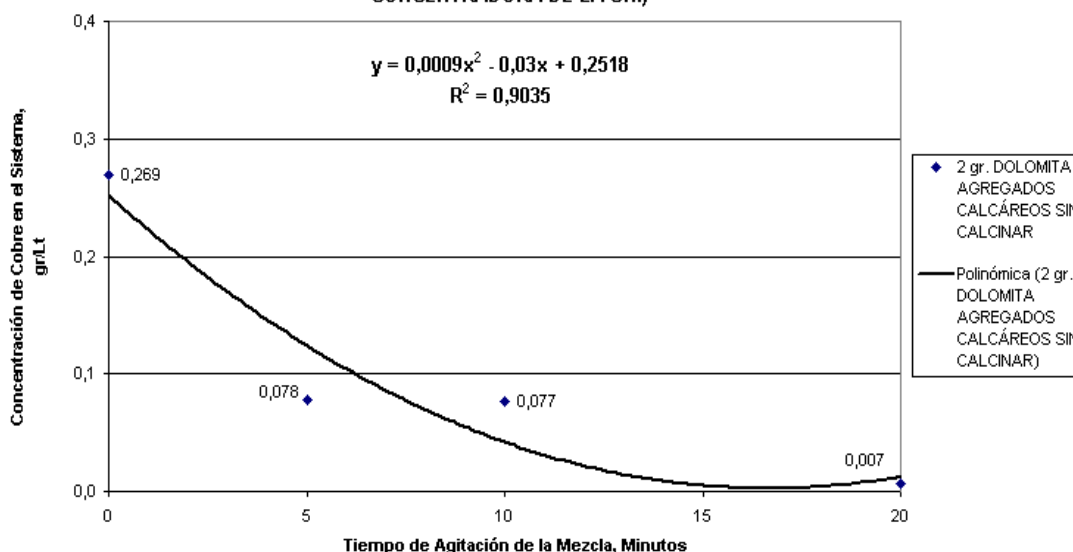


FIGURA Nº 44: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS SIN CALCINAR

9.1.5.2.2. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS SIN CALCINAR

TIEMPO (min)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)	$[Cu^{+2}]/[Cu^{+2}]_0$	$\ln ((Cu^{+2})/(Cu^{+2})_0)$	Conc. Cu en Sistema Calculado (gr/Lt)
0	0,269	1,000	0,000	0,269
5	0,078	0,290	-1,236	0,033
10	0,077	0,285	-1,255	0,013
20	0,007	0,026	-3,660	0,000

Fuente: Presente Investigación

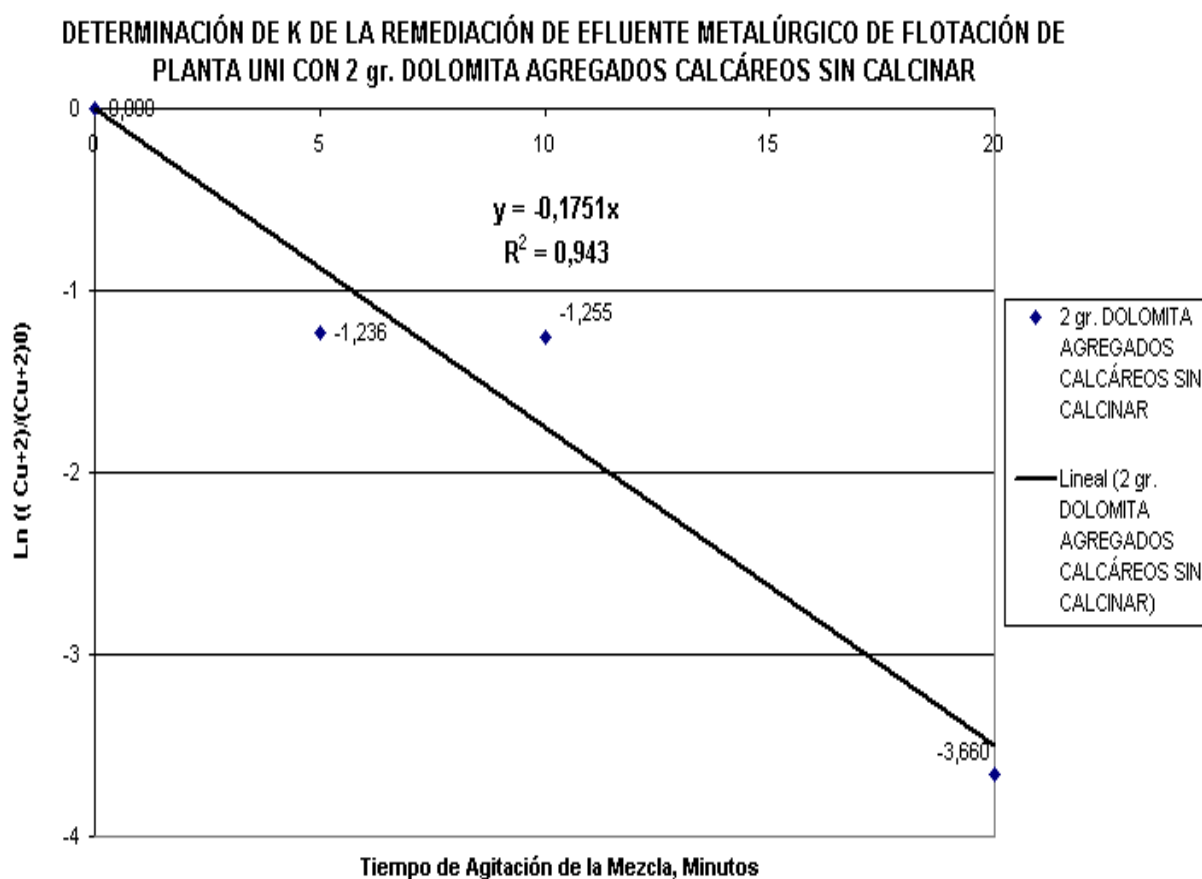


FIGURA Nº 45: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS SIN CALCINAR, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE

9.1.5.2.3. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

Condiciones de la Prueba:

Dolomita: Agregados Calcáreos

Peso de dolomita: 2 gr

Tiempo de Molienda: 30 minutos

Malla : -325

Estado de Dolomita: Calcinada

Temperatura de Tostación: 500°C

RPM: 700

Volumen de Solución Lixiviante= 100 ml de Efluente de Planta UNI

pH Inicial de la Solución de Lixiviación: 3

pH Final de la Solución de Lixiviación: 6

Porcentaje de Reducción de Cobre: 91.06%

MUESTRAS DE DOLOMITA PARA ADSORCIÓN DE COBRE (DOLOMITA CALCINADA)						
Mezcla (2 gr. Dolomita + 100 mL de Efluente de Planta UNI)						
PESO (g.)	TIEMPO (min)	TRANSMITANCIA	ABSORBANCIA	CONSTANTE (K)	Conc. Cu en Muestra (gr/Lt)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)
2	0	91,50	0,03857891	0,000786	0,049	0,123
2	5	98,20	0,00788851	0,000786	0,010	0,025
2	10	99,20	0,00348833	0,000786	0,004	0,011

Fuente: Presente Investigación

CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE EN EL SISTEMA (MEZCLA: 2 gr. DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA 500°C EN 100 ml DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI)

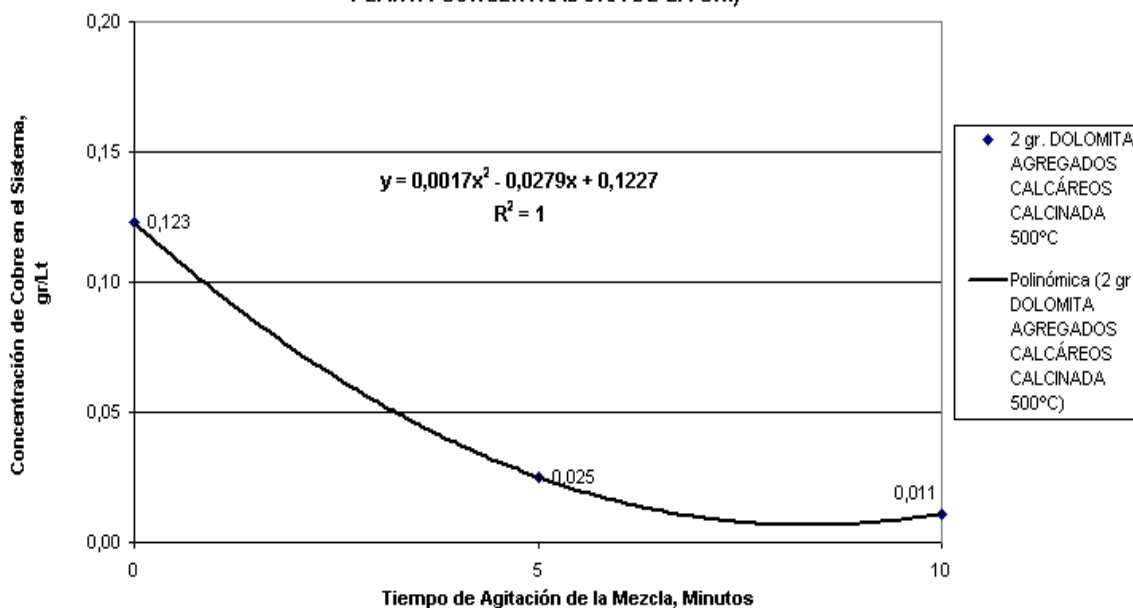


FIGURA Nº 46: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 500°C

9.1.5.2.4. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

TIEMPO (min)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)	$[Cu+2]/[Cu+2]_0$	$\ln ((Cu+2)/(Cu+2)_0)$	Conc. Cu en Sistema Calculado (gr/Lt)
0	0,123	1,000	0,000	0,123
5	0,025	0,204	-1,587	0,090
10	0,011	0,090	-2,403	0,143

Fuente: Presente Investigación

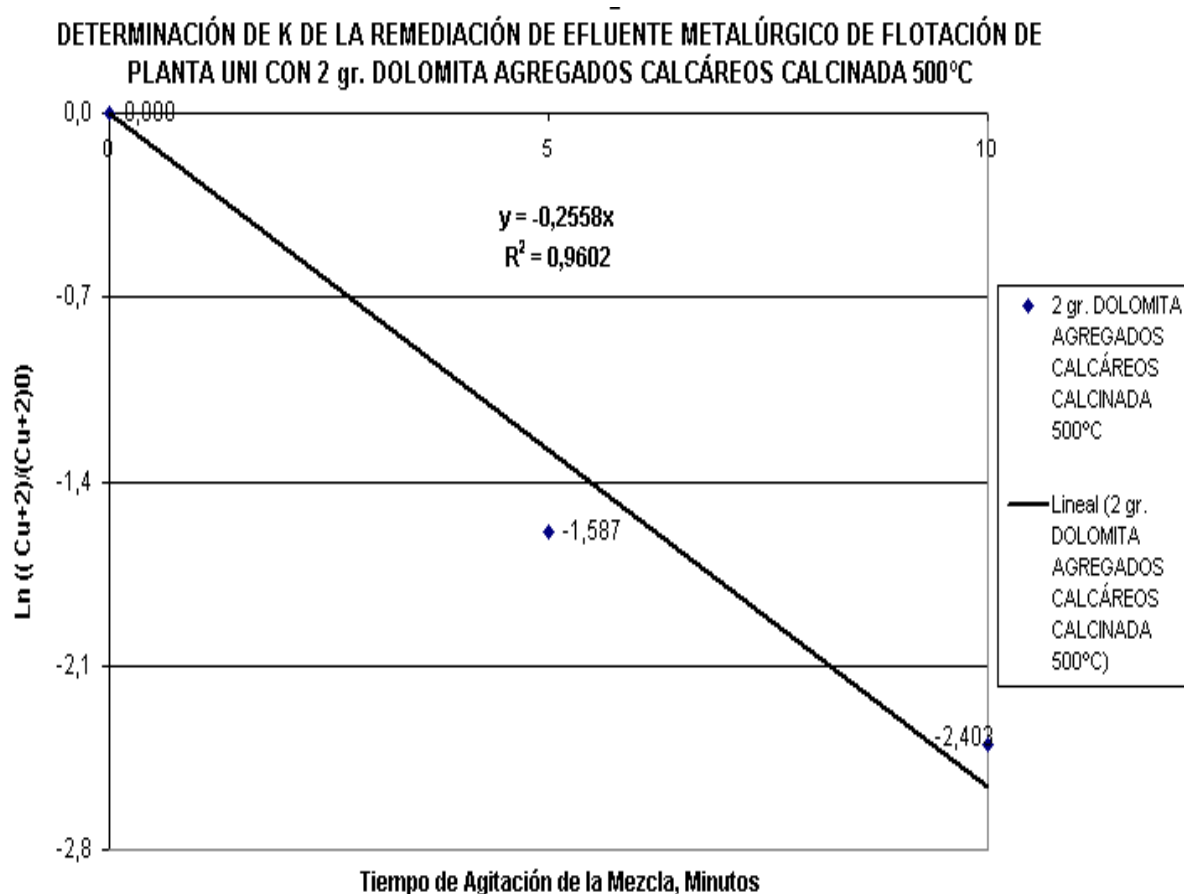


FIGURA Nº 47: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 500°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE

9.1.5.2.5. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

Condiciones de la Prueba:

Dolomita: Agregados Calcáreos

Peso de dolomita: 1 gr

Tiempo de Molienda: 30 minutos

Malla : -325

Estado de Dolomita: Calcinada

Temperatura de Tostación: 700°C

RPM: 700

Volumen de Solución Lixiviante= 100 ml de Efluente de Planta UNI

pH Inicial de la Solución de Lixiviación: 3

pH Final de la Solución de Lixiviación: 8

Porcentaje de Reducción de Cobre: 94.16%

MUESTRAS DE DOLOMITA PARA ADSORCIÓN DE COBRE (DOLOMITA CALCINADA)						
Mezcla (1 gr. Dolomita + 100 mL de Efluente de Planta UNI)						
PESO (g.)	TIEMPO (min)	TRANSMITANCIA	ABSORBANCIA	CONSTANTE (K)	Conc. Cu en Muestra (gr/Lt)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)
1	0	80,0	0,0969100	0,000786	0,123	0,308
1	10	91,1	0,0404816	0,000786	0,052	0,129
1	15	94,4	0,0250280	0,000786	0,032	0,080
1	20	94,7	0,0236500	0,000786	0,030	0,075
1	30	98,7	0,0056828	0,000786	0,007	0,018

Fuente: Presente Investigación

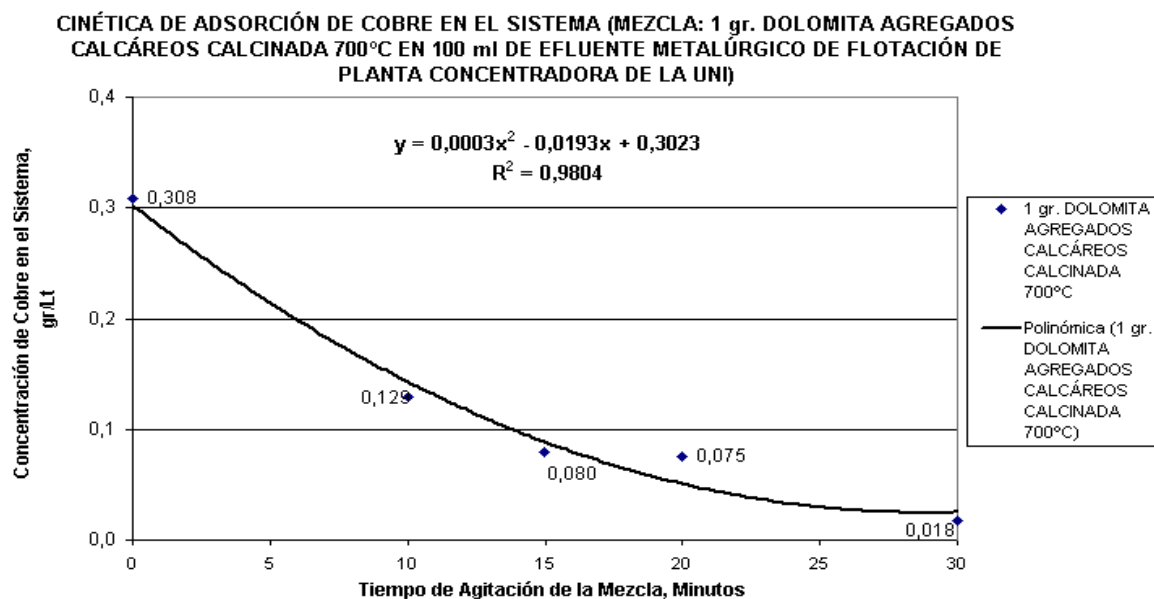


FIGURA N° 48: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C

9.1.5.2.6. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

TIEMPO (min)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)	[Cu+2]/[Cu+2]0	Ln ((Cu+2)/(Cu+2)0)	Conc. Cu en Sistema Calculado (gr/Lt)
0	0,308	1,000	0,000	0,308
10	0,129	0,418	-0,873	0,309
15	0,080	0,258	-1,354	0,296
20	0,075	0,244	-1,410	0,434
30	0,018	0,059	-2,836	0,250

Fuente: Presente Investigación

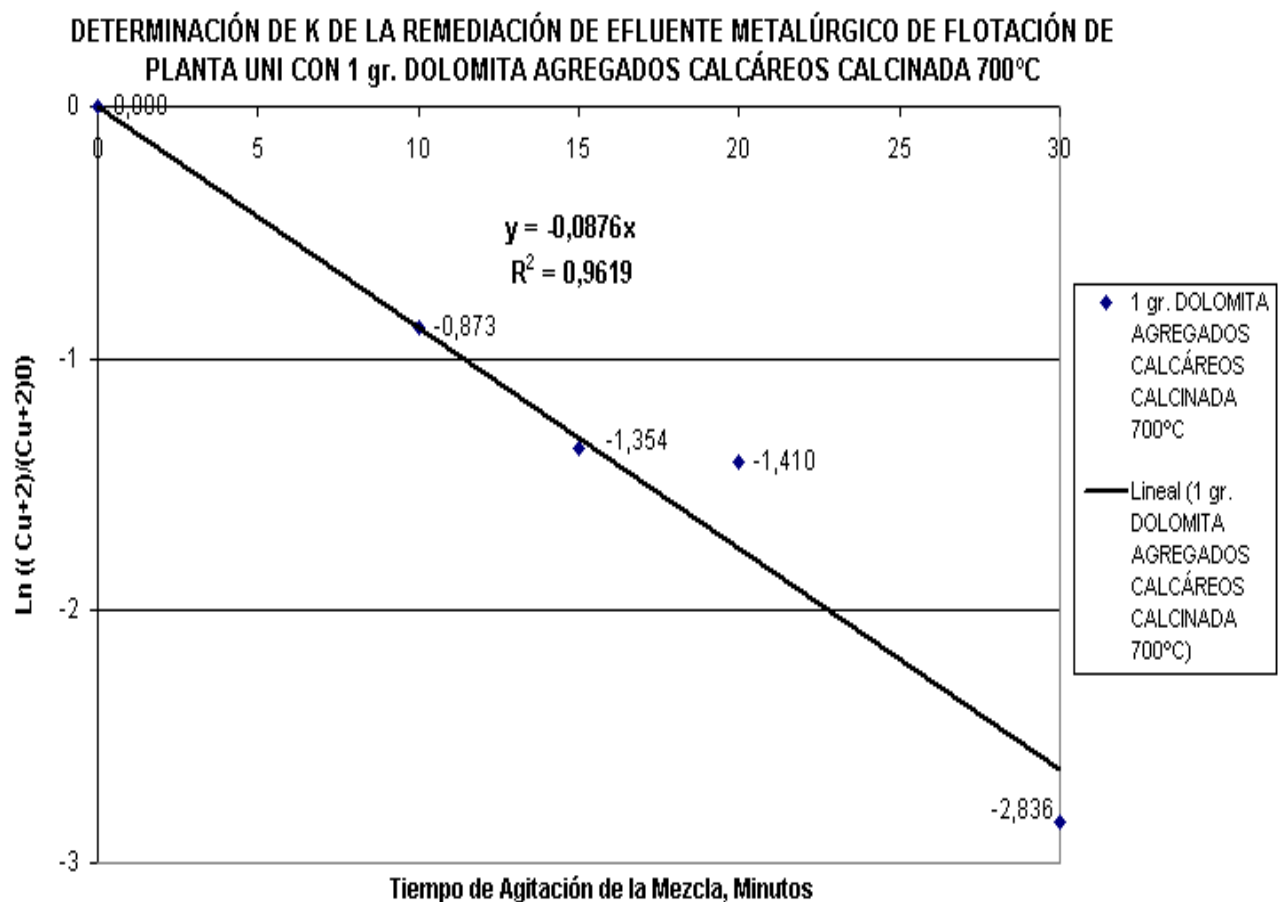


FIGURA N° 49: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE

9.1.5.2.7. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

Condiciones de la Prueba:

Dolomita: Agregados Calcáreos

Peso de dolomita: 2 gr

Tiempo de Molienda: 30 minutos

Malla : -325

Estado de Dolomita: Calcinada

Temperatura de Tostación: 700°C

RPM: 700

Volumen de Solución Lixiviante= 100 ml de Efluente de Planta UNI

pH Inicial de la Solución de Lixiviación: 3

pH Final de la Solución de Lixiviación: 8

Porcentaje de Reducción de Cobre: 89.51%

MUESTRAS DE DOLOMITA PARA ADSORCIÓN DE COBRE (DOLOMITA CALCINADA)						
Mezcla (2 gr. Dolomita + 100 mL de Efluente de Planta UNI)						
PESO (g.)	TIEMPO (min)	TRANSMITANCIA	ABSORBANCIA	CONSTANTE (K)	Conc. Cu en Muestra (gr/Lt)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)
2	0	73,3	0,134896025	0,000786	0,172	0,429
2	10	92,2	0,035269079	0,000786	0,045	0,112
2	15	96,8	0,014124643	0,000786	0,018	0,045

Fuente: Presente Investigación

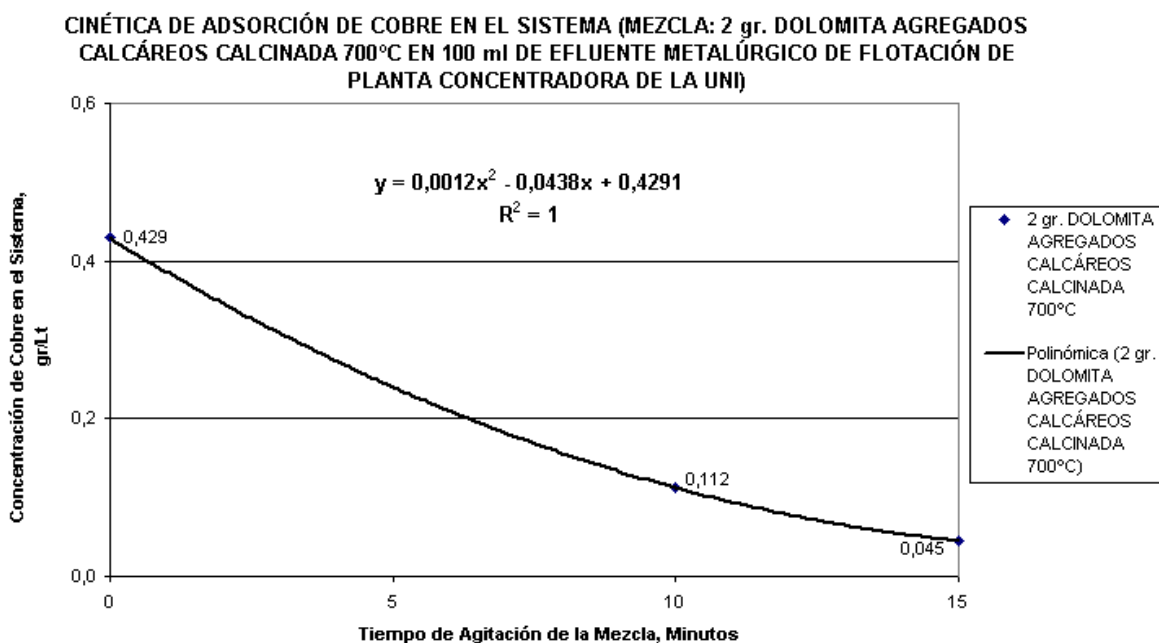


FIGURA Nº 50: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C

9.1.5.2.8. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

TIEMPO (min)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)	$[Cu+2]/[Cu+2]_0$	$\ln ((Cu+2)/(Cu+2)_0)$	Conc. Cu en Sistema Calculado (gr/Lt)
0	0,429	1,000	0,000	0,429
10	0,112	0,261	-1,341	0,480
15	0,045	0,105	-2,257	0,398

Fuente: Presente Investigación

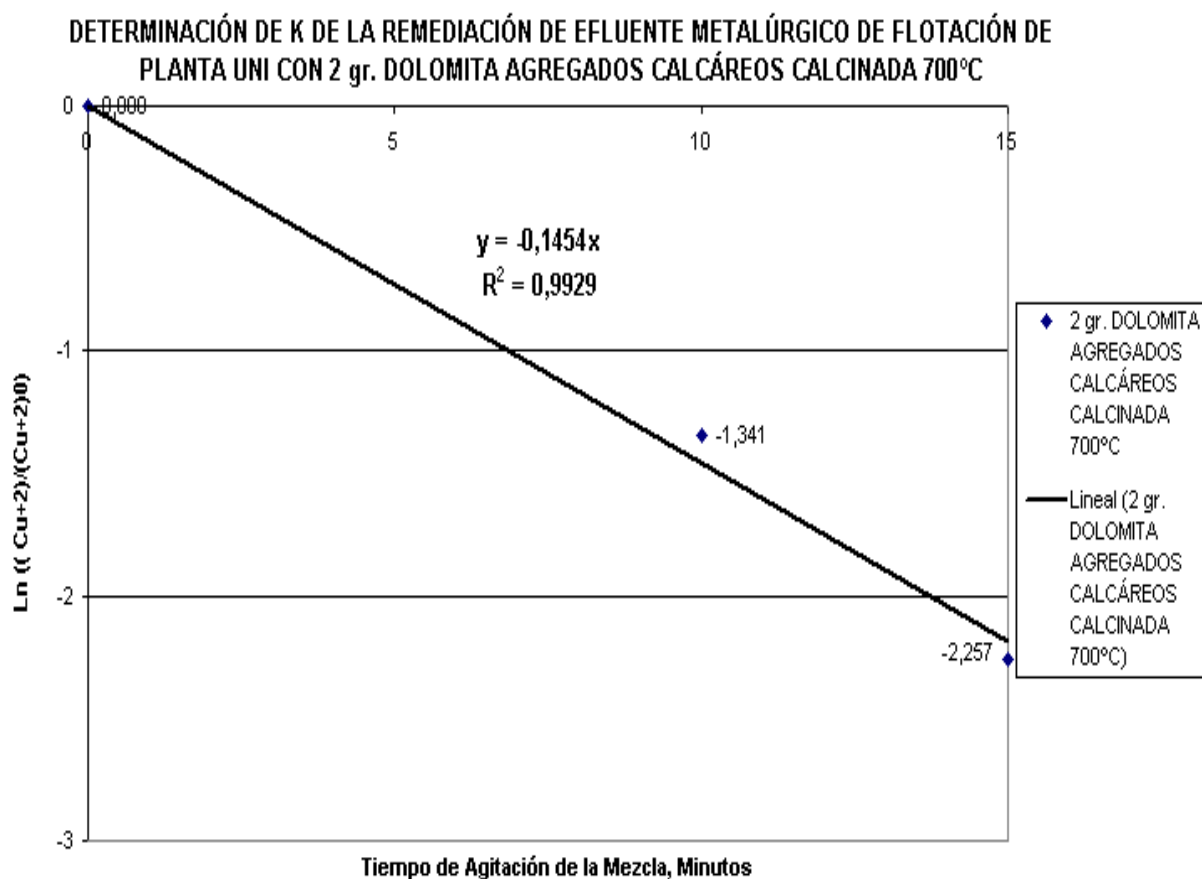


FIGURA Nº 51: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE

9.1.5.2.9. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

CONDICIONES DE LA PRUEBA:

Dolomita: Agregados Calcáreos

Peso de dolomita: 4 gr

Tiempo de Molienda: 30 minutos

Malla : -325

Estado de Dolomita: Calcinada

Temperatura de Tostación: 700°C

RPM: 700

Volumen de Solución Lixiviante= 100 ml de Efluente de Planta UNI

pH Inicial de la Solución de Lixiviación: 3

pH Final de la Solución de Lixiviación: 10

Porcentaje de Reducción de Cobre: 96.99%

MUESTRAS DE DOLOMITA PARA ADSORCIÓN DE COBRE (DOLOMITA CALCINADA)						
Mezcla (4 gr. Dolomita + 100 mL de Efluente de Planta UNI)						
PESO (g.)	TIEMPO (min)	TRANSMITANCIA	ABSORBANCIA	CONSTANTE (K)	Conc. Cu en Muestra (gr/Lt)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)
4	0	54,8	0,261219442	0,000786	0,332	0,831
4	10	90,4	0,04383157	0,000786	0,056	0,139
4	15	98,2	0,007888512	0,000786	0,010	0,025

Fuente: Presente Investigación

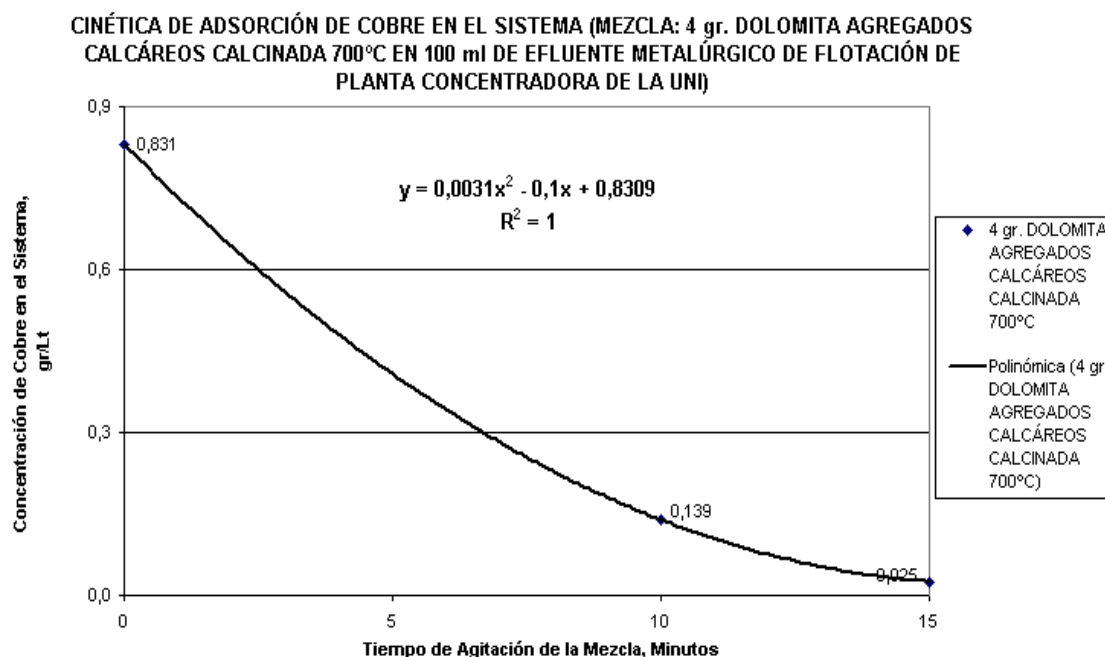


FIGURA Nº 52: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C

9.1.5.2.10. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

TIEMPO (min)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)	$[Cu^{+2}]/[Cu^{+2}]_0$	$\ln ((Cu^{+2})/(Cu^{+2})_0)$	Conc. Cu en Sistema Calculado (gr/Lt)
0	0,831	1,000	0,000	0,831
10	0,139	0,168	-1,785	1,215
15	0,025	0,030	-3,500	0,645

Fuente: Presente Investigación

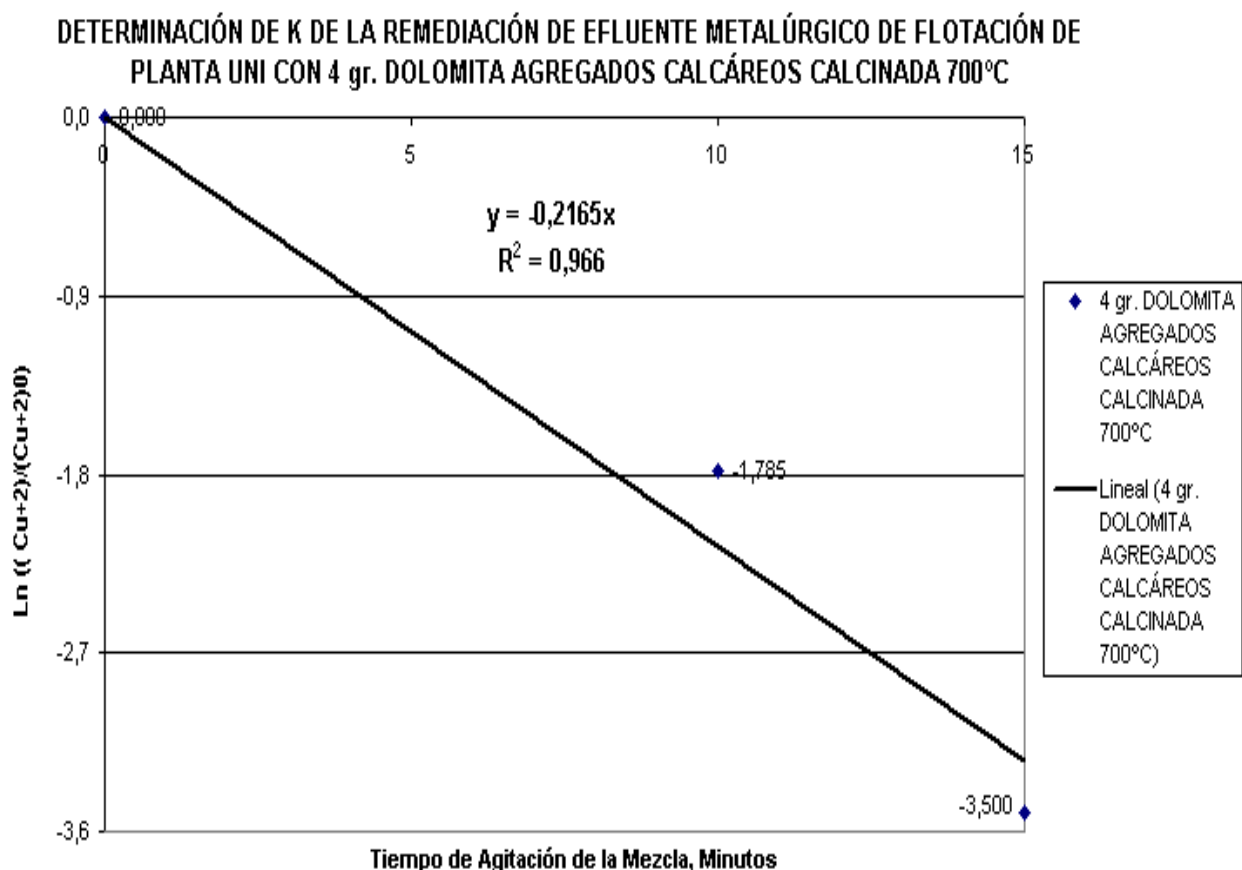


FIGURA N° 53: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE

9.1.5.2.11. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

Condiciones de la Prueba:

Dolomita: Agregados Calcáreos
 Peso de dolomita: 2 gr
 Tiempo de Molienda: 30 minutos
 Malla : -325
 Estado de Dolomita: Calcinada
 Temperatura de Tostación: 800°C
 RPM: 700
 Volumen de Solución Lixivante= 100 ml de Efluente de Planta UNI
 pH Inicial de la Solución de Lixiviación: 3
 pH Final de la Solución de Lixiviación: 11
 Porcentaje de Reducción de Cobre: 94.66%

MUESTRAS DE DOLOMITA PARA ADSORCIÓN DE COBRE (DOLOMITA CALCINADA)						
Mezcla (2 gr. Dolomita + 100 mL de Efluente de Planta UNI)						
PESO (g.)	TIEMPO (min)	TRANSMITANCIA	ABSORBANCIA	CONSTANTE (K)	Conc. Cu en Muestra (gr/Lt)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)
2	0	53,6	0,2708352	0,000786	0,345	0,861
2	5	70,7	0,1505806	0,000786	0,192	0,479
2	15	92,1	0,0357404	0,000786	0,045	0,114
2	20	96,7	0,0145735	0,000786	0,019	0,046

Fuente: Presente Investigación

CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE EN EL SISTEMA (MEZCLA: 2 gr. DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA 800°C EN 100 ml DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI)

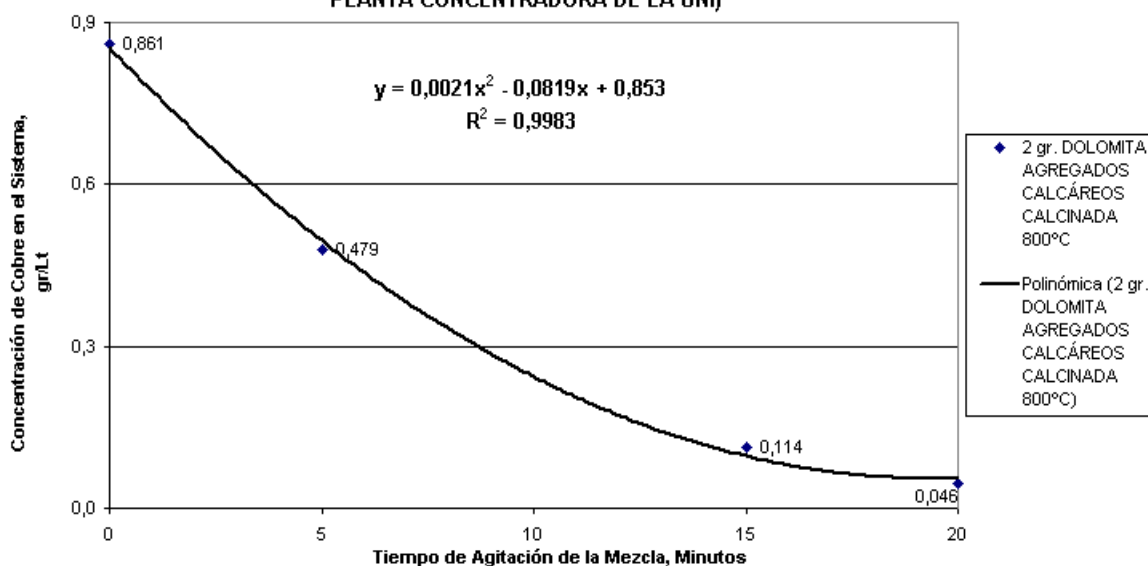


FIGURA Nº 54: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 800°C

9.1.5.2.12. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

TIEMPO (min)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)	$[Cu+2]/[Cu+2]_0$	$\ln ((Cu+2)/(Cu+2)_0)$	Conc. Cu en Sistema Calculado (gr/Lt)
0	0,861	1,000	0,000	0,861
5	0,479	0,556	-0,587	0,970
15	0,114	0,132	-2,025	0,945
20	0,046	0,054	-2,922	0,781

Fuente: Presente Investigación

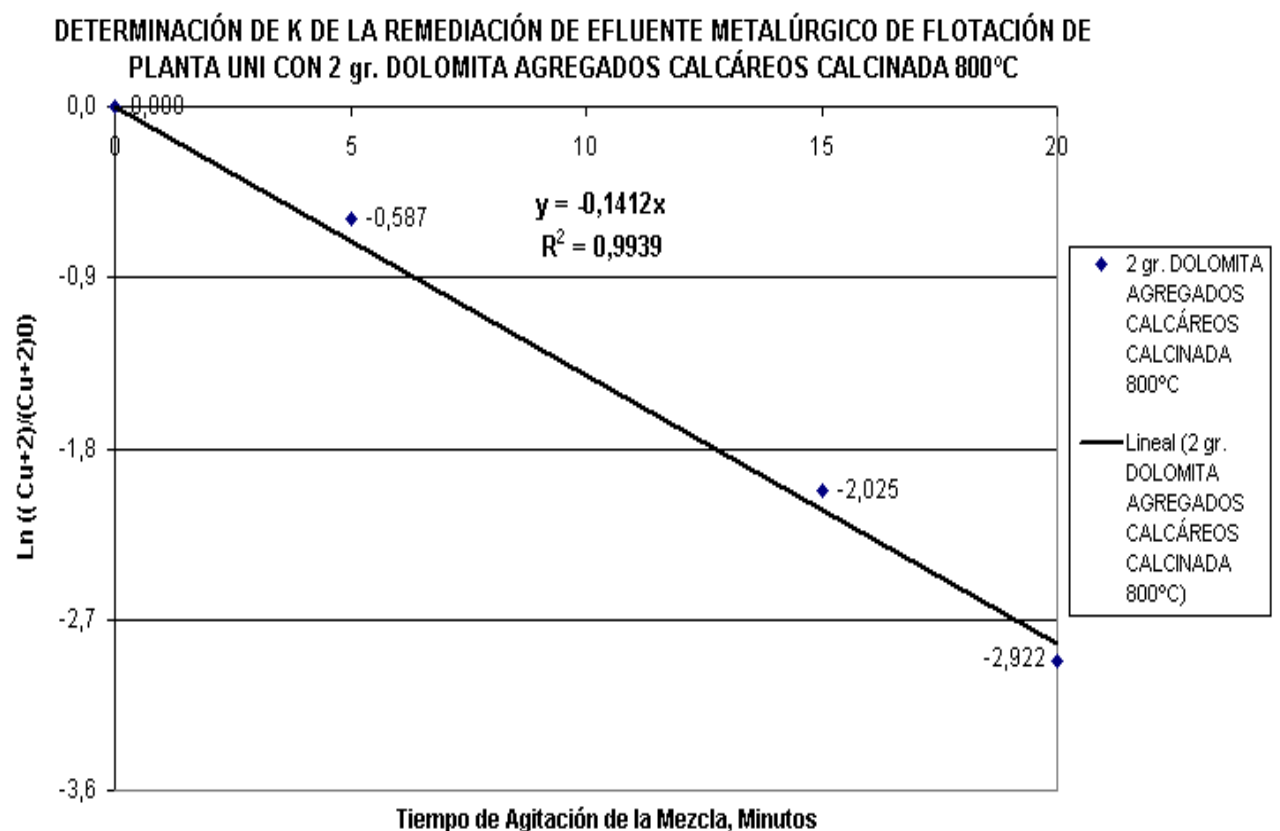


FIGURA Nº 55: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 800°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE

9.1.5.2.13. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

Condiciones de la Prueba:

Dolomita: Agregados Calcáreos

Peso de dolomita: 4 gr

Tiempo de Molienda: 30 minutos

Malla : -325

Estado de Dolomita: Calcinada

Temperatura de Tostación: 800°C

RPM: 700

Volumen de Solución Lixivante= 100 ml de Efluente de Planta UNI

pH Inicial de la Solución de Lixiviación: 3

pH Final de la Solución de Lixiviación: 12

Porcentaje de Reducción de Cobre: 90.93%

MUESTRAS DE DOLOMITA PARA ADSORCIÓN DE COBRE (DOLOMITA CALCINADA)						
Mezcla (4 gr. Dolomita + 100 mL de Efluente de Planta UNI)						
PESO (g.)	TIEMPO (min)	TRANSMITANCIA	ABSORBANCIA	CONSTANTE (K)	Conc. Cu en Muestra (gr/Lt)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)
4	0	76,2	0,118045029	0,000786	0,150	0,375
4	10	91,9	0,036684489	0,000786	0,047	0,117
4	20	97,6	0,010550182	0,000786	0,013	0,034

Fuente: Presente Investigación

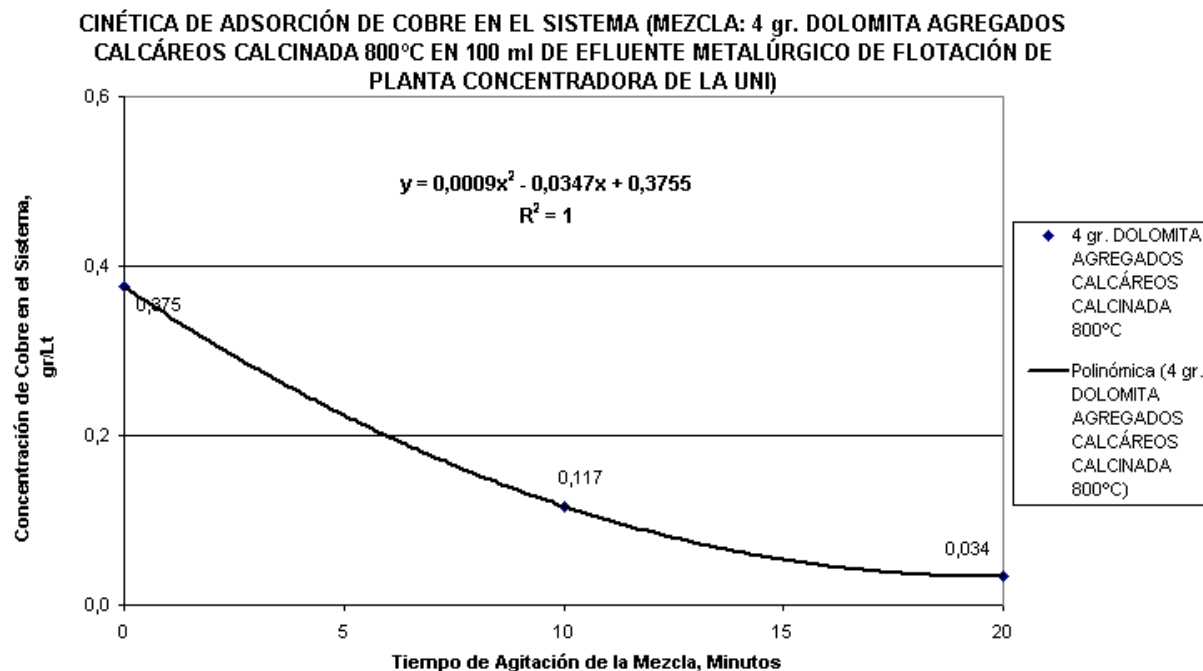


FIGURA Nº 56: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 800°C

9.1.5.2.14. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

TIEMPO (min)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)	$[Cu+2]/[Cu+2]_0$	$\ln ((Cu+2)/(Cu+2)_0)$	Conc. Cu en Sistema Calculado (gr/Lt)
0	0,375	1,000	0,000	0,375
10	0,117	0,311	-1,169	0,387
20	0,034	0,089	-2,415	0,370

Fuente: Presente Investigación

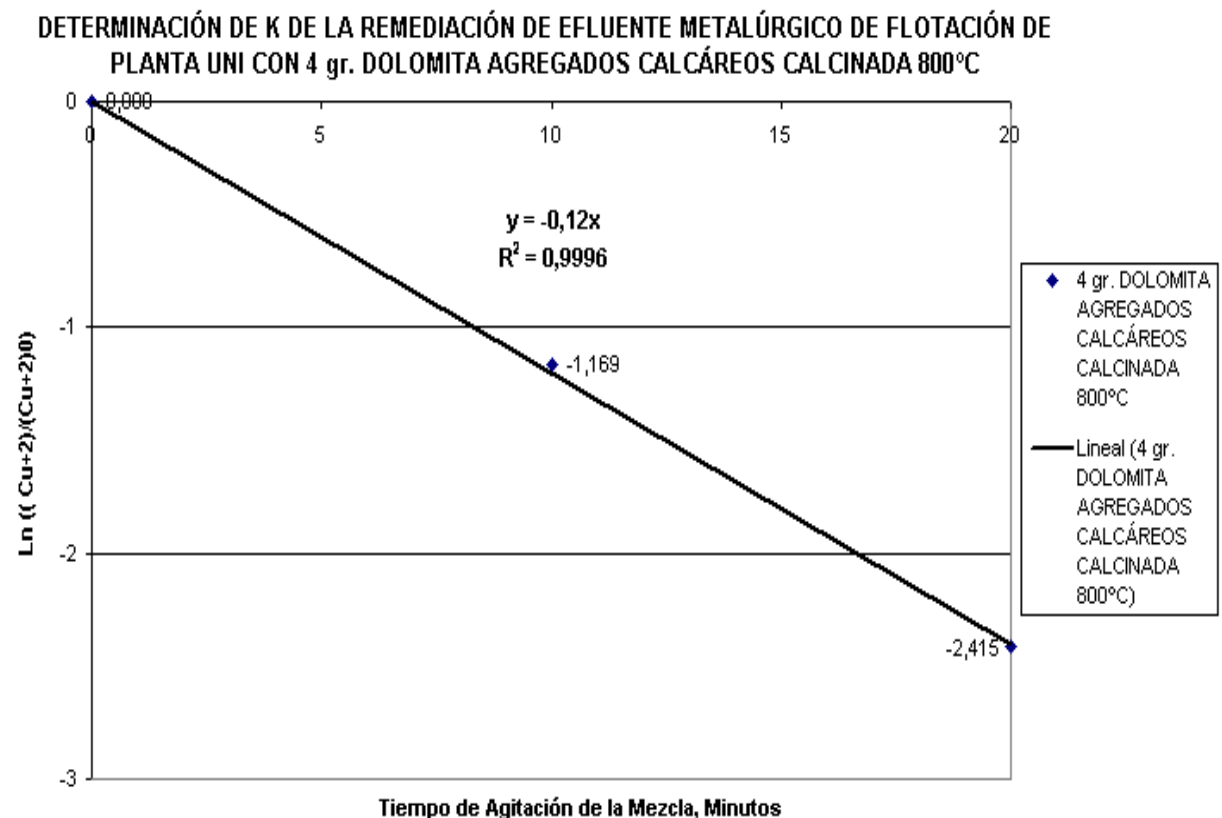


FIGURA N° 57: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 800°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE

9.1.5.2.15. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

Condiciones de la Prueba:

Dolomita: Agregados Calcáreos

Peso de dolomita: 3 gr

Tiempo de Molienda: 30 minutos

Malla : -325

Estado de Dolomita: Calcinada

Temperatura de Tostación: 900°C

RPM: 700

Volumen de Solución Lixivante= 100 ml de Efluente de Planta UNI

pH Inicial de la Solución de Lixiviación: 3

pH Final de la Solución de Lixiviación: 13

Porcentaje de Reducción de Cobre: 95.18%

MUESTRAS DE DOLOMITA PARA ADSORCIÓN DE COBRE (DOLOMITA CALCINADA)						
Mezcla (3 gr. Dolomita + 100 mL de Efluente de Planta UNI)						
PESO (g.)	TIEMPO (min)	TRANSMITANCIA	ABSORBANCIA	CONSTANTE (K)	Conc. Cu en Muestra (gr/Lt)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)
3	0	68,7	0,163043	0,000786	0,207	0,519
3	15	93,1	0,031050	0,000786	0,040	0,099
3	20	96,2	0,016825	0,000786	0,021	0,054
3	30	98,2	0,007889	0,000786	0,010	0,025

Fuente: Presente Investigación

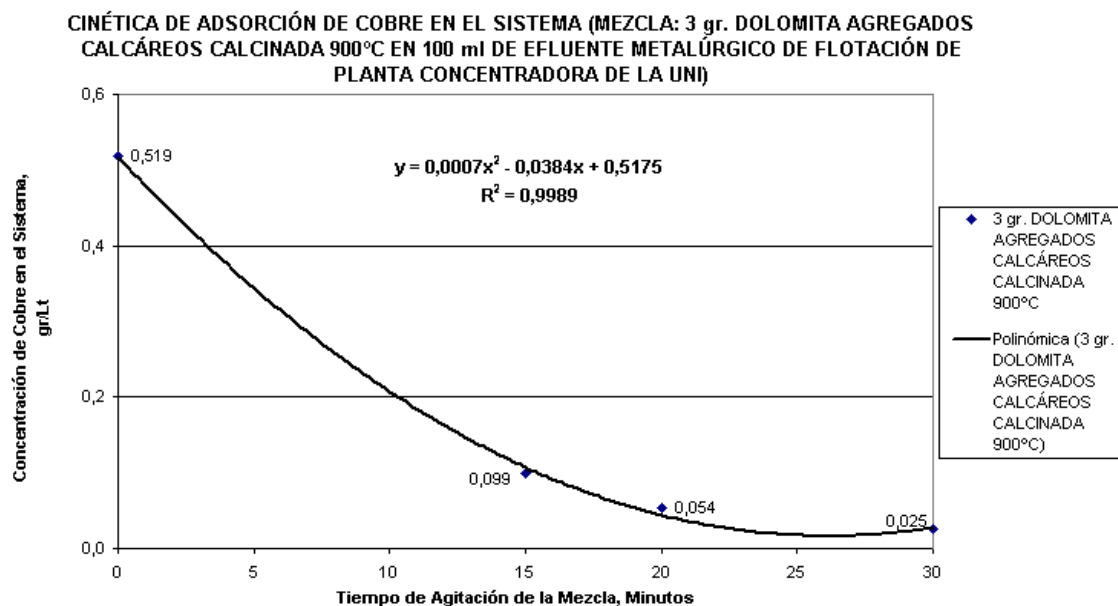


FIGURA Nº 58: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 900°C

9.1.5.2.16. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

TIEMPO (min)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)	$[Cu^{+2}]/[Cu^{+2}]_0$	$\ln ((Cu^{+2})/(Cu^{+2})_0)$	Conc. Cu en Sistema Calculado (gr/Lt)
0	0,519	1,000	0,000	0,519
15	0,099	0,190	-1,658	0,482
20	0,054	0,103	-2,271	0,443
30	0,025	0,048	-3,029	0,598

Fuente: Presente Investigación

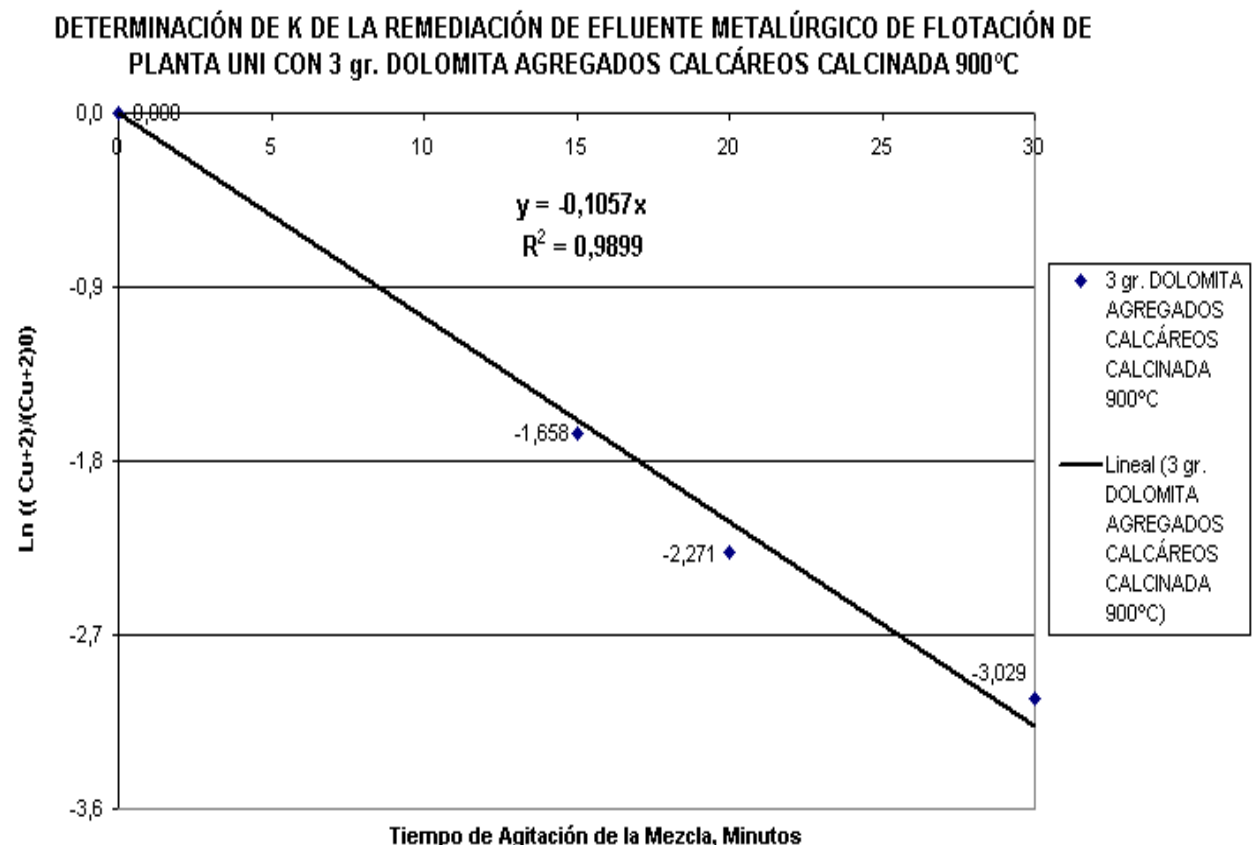


FIGURA N° 59: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 900°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE

**TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES
METALÚRGICOS DE LIXIVIACIÓN ÁCIDA DE PELLETS
TOSTADOS DE CALCOPIRITA CON DOLOMITA COMERCIAL
DE AGREGADOS CALCÁREOS EN ESTADO SIN CALCINAR**

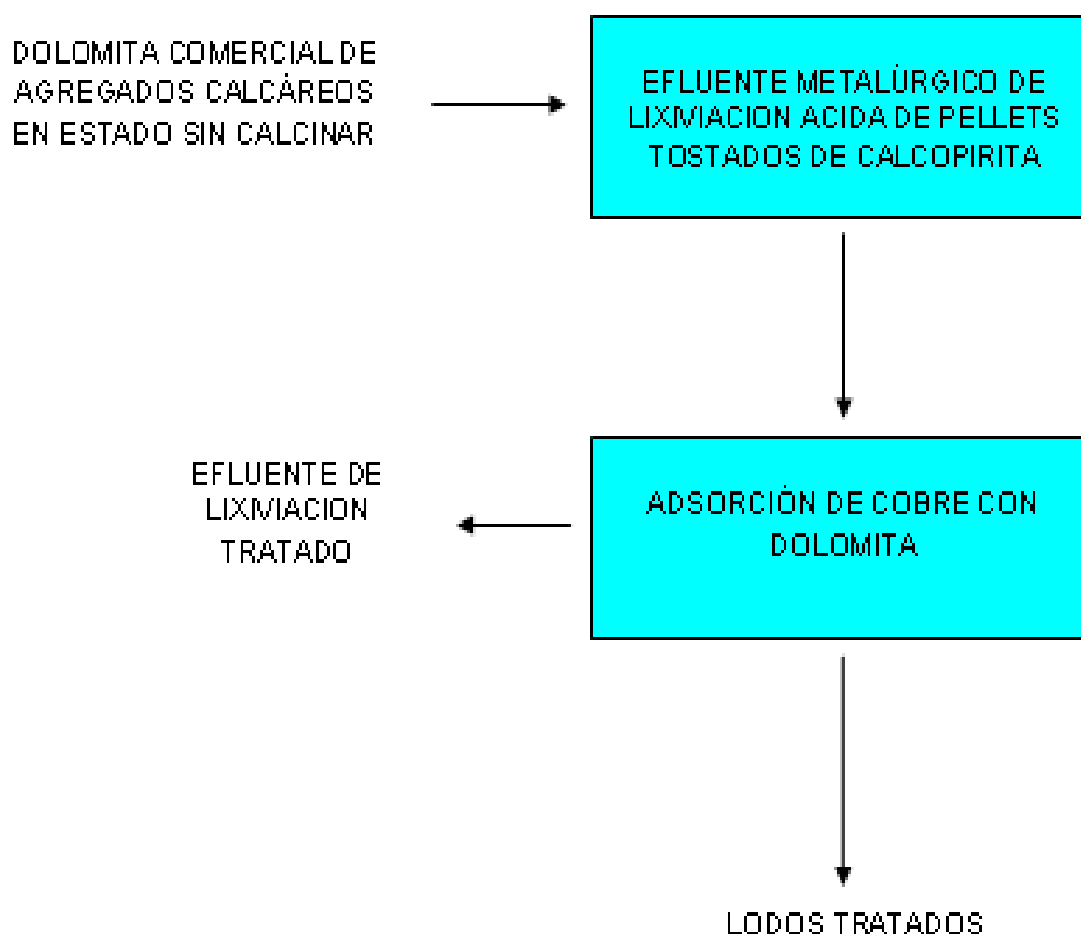


FIGURA Nº 60: DIAGRAMA DE FLUJO DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS DE LIXIVIACIÓN ÁCIDA DE PELLETS TOSTADOS DE CALCOPIRITA CON DOLOMITA COMERCIAL EN ESTADO SIN CALCINAR

**TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES
METALÚRGICOS DE LIXIVIACIÓN ÁCIDA DE PELLETS
TOSTADOS DE CALCOPIRITA CON DOLOMITA COMERCIAL
DE AGREGADOS CALCÁREOS EN ESTADO CALCINADO**

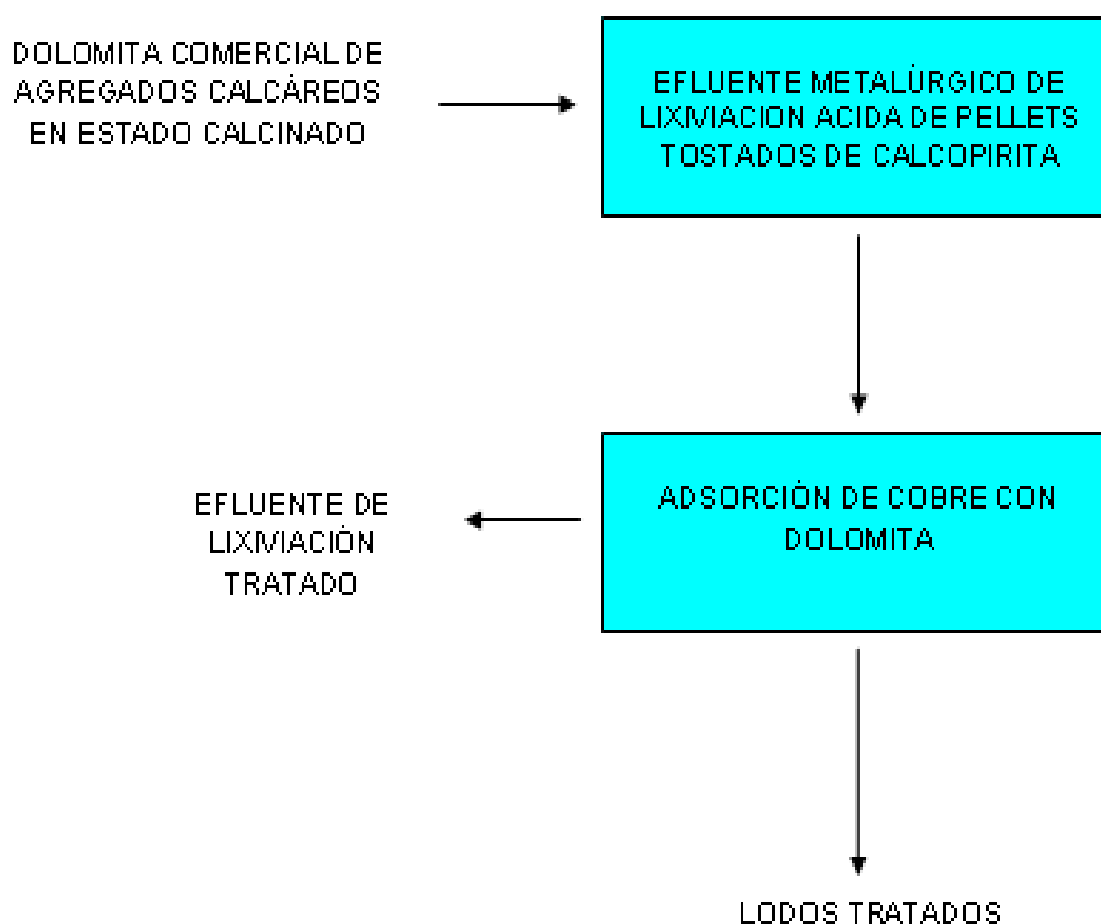


FIGURA Nº 61: DIAGRAMA DE FLUJO DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS DE LIXIVIACIÓN ÁCIDA DE PELLETS TOSTADOS DE CALCOPIRITA CON DOLOMITA COMERCIAL EN ESTADO CALCINADO

9.1.5.3. EFLUENTE METALÚRGICO DE LIXIVIACIÓN, SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE TRATADO CON DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS CALCÁREOS

9.1.5.3.1. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

CONDICIONES DE LA PRUEBA:

Dolomita: Agregados Calcáreos

Peso de dolomita: 2 gr

Tiempo de Molienda: 30 minutos

Malla : - 325

Estado de Dolomita: Calcinada

Temperatura de Tostación: 700°C

RPM: 525

pH Inicial de la Solución de Lixiviación: 3

Volumen de Solución Lixivante= 100 ml de Solución Lixivante (15.5 ml de Sol. de CuSO₄ + 84,5 ml de Agua desionizada)

Concentración Inicial de Solución Lixivante= 1.28 gr/Lt Cu.

Concentración de Solución Lixivante= 1 gr/Lt Cu.

Porcentaje de Reducción de Cobre: 94.85%

MUESTRAS DE DOLOMITA PARA ADSORCIÓN DE COBRE (DOLOMITA CALCINADA)						
Mezcla (2 gr. Dolomita + 15,5 ml CuSO ₄ +84,5 ml Agua desionizada)						
PESO (g.)	TIEMPO (min)	TRANSMITANCIA	ABSORBANCIA	CONSTANTE (K)	Conc. Cu en Muestra (gr/Lt)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)
2	0	42,4	0,372634	0,000786	0,474	1,185
2	15	86,1	0,064997	0,000786	0,083	0,207
2	20	87,1	0,059982	0,000786	0,076	0,191
2	30	95,7	0,019088	0,000786	0,024	0,061

Fuente: Presente Investigación

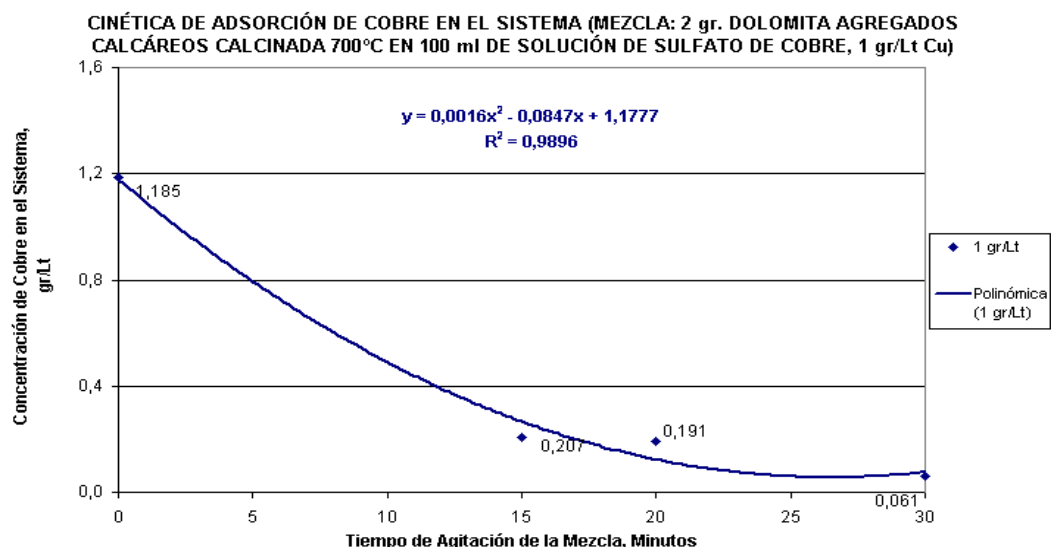


FIGURA N° 62: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C

9.1.5.3.2. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

TIEMPO (min)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)	$[Cu^{+2}]/[Cu^{+2}]_0$	$\ln ((Cu^{+2})/(Cu^{+2})_0)$	Conc. Cu en Sistema Calculado (gr/Lt)
0	1,185	1,000	0,000	1,185
15	0,207	0,174	-1,746	0,921
20	0,191	0,161	-1,827	1,398
30	0,061	0,051	-2,972	1,205

Fuente: Presente Investigación

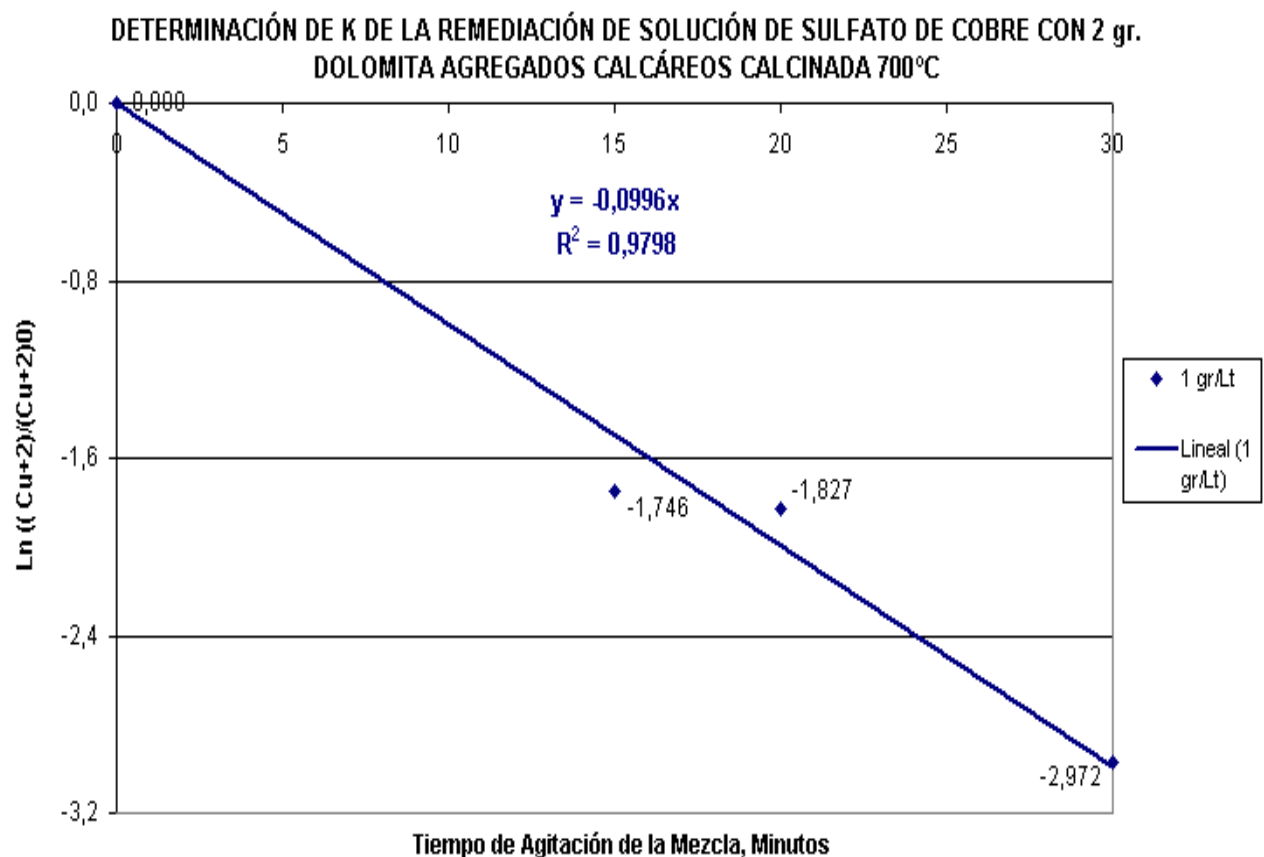


FIGURA Nº 63: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE

9.1.5.3.3. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

Condiciones de la Prueba:

Dolomita: Agregados Calcáreos

Peso de dolomita: 2 gr

Tiempo de Molienda: 30 minutos

Malla : - 325

Estado de Dolomita: Calcinada

Temperatura de Tostación: 700°C

RPM: 525

Volumen de Solución Lixiviante= 100 ml de Solución Lixiviante (15.5 ml de Sol. de CuSO₄ + 84,5 ml de Agua desionizada)

Concentración Inicial de Solución Lixiviante= 1.28 gr/Lt Cu.

Concentración de Solución Lixiviante= 0.5 gr/Lt Cu.

Porcentaje de Reducción de Cobre: 95%

MUESTRAS DE DOLOMITA PARA ADSORCIÓN DE COBRE (DOLOMITA CALCINADA)						
Mezcla (2 gr. Dolomita + 15,5 ml CuSO ₄ +84,5 ml Agua desionizada)						
PESO (g.)	TIEMPO (min)	TRANSMITANCIA	ABSORBANCIA	CONSTANTE (K)	Conc. Cu en Muestra (gr/Lt)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)
2	0	68,6	0,163675884	0,000786	0,208	0,521
2	15	98,4	0,007004902	0,000786	0,009	0,022
2	20	98,1	0,008330993	0,000786	0,011	0,026

Fuente: Presente Investigación

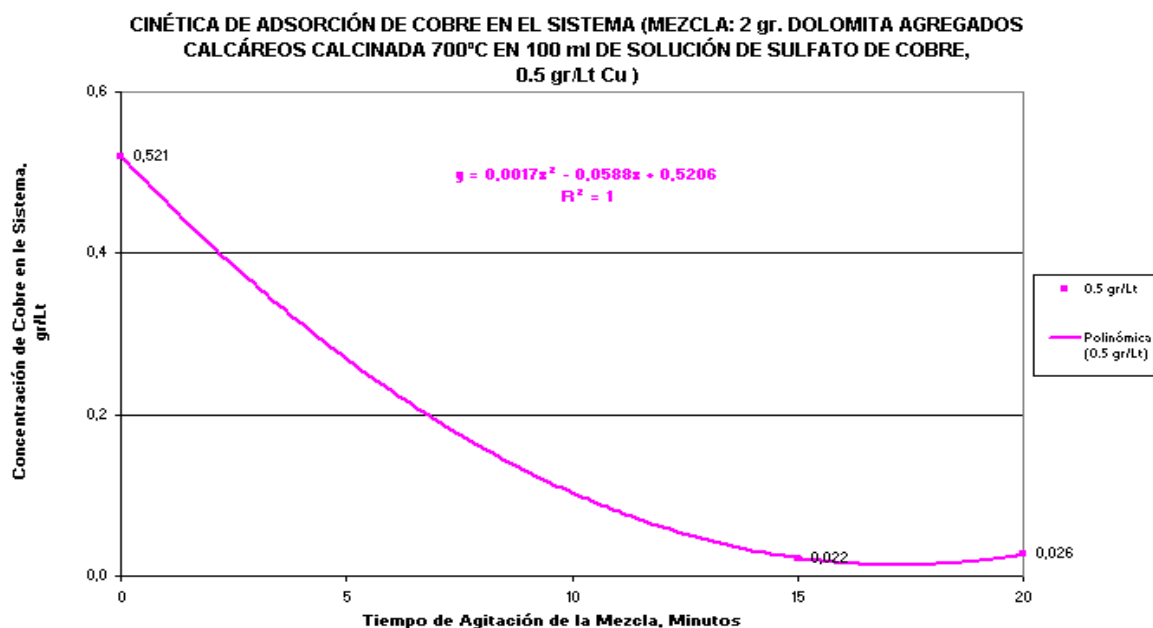


FIGURA Nº 64: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C

9.1.5.3.4. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

TIEMPO (min)	Conc. Cu en Sistema (gr/Lt)	$[Cu^{+2}]/[Cu^{+2}]_0$	$\ln ((Cu^{+2})/(Cu^{+2})_0)$	Conc. Cu en Sistema Calculado (gr/Lt)
0	0,521	1,000	0,000	0,521
15	0,022	0,043	-3,151	0,002
20	0,026	0,051	-2,978	0,001

Fuente: Presente Investigación

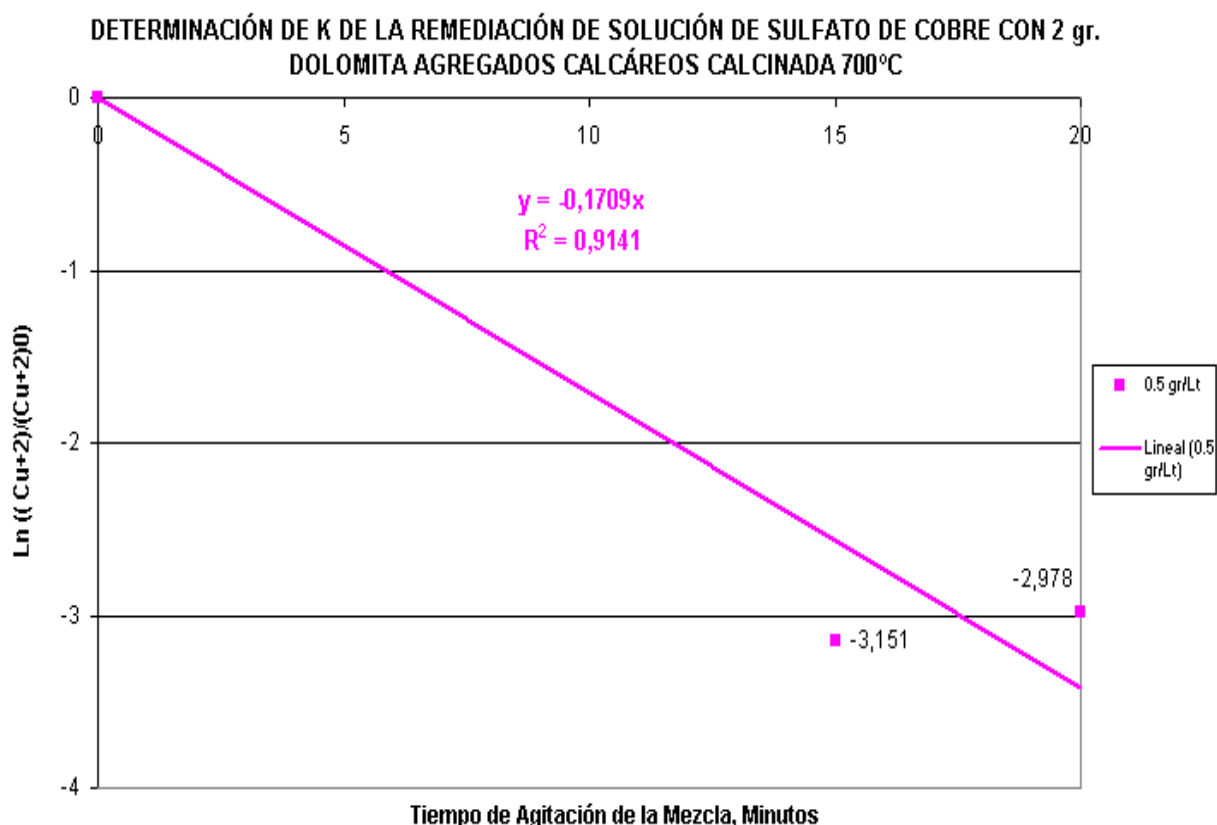


FIGURA N° 65: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C, PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE REMEDIACIÓN DE COBRE

9.1.5.3.5. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

CONDICIONES DE LA PRUEBA:

Dolomita: Agregados Calcáreos

Peso de la dolomita= 2 grs.

Temperatura de Tostación de Dolomita = 1050°C

Tiempo de Tostación: 1 hora

Volumen de Solución Lixivante= 100 ml de Solución de CuSO₄

Concentración Inicial de CuSO₄ = 3,6 gr/lit

Concentración de Solución Lixivante= 1 gr/Lt Cu.

Porcentaje de Reducción de Cobre: 52%

MUESTRAS DE DOLOMITA PARA ADSORCIÓN DE COBRE (DOLOMITA CALCINADA)						
Mezcla (2gr. Dolomita +100 ml de Solución de CuSO ₄						
PESO (g.)	TIEMPO (min)	TRANSMITANCIA	ABSORBANCIA	CONSTANTE (K)	Conc. Cu en Muestra (gr/Lt)	Conc. Cu total en Sistema (gr/Lt)
2	0	36,3	0,44009337	0,000786	0,560	1,400
2	5	50,5	0,29670862	0,000786	0,377	0,944
2	10	60,0	0,22184875	0,000786	0,282	0,706
2	15	60,8	0,21609642	0,000786	0,275	0,687
2	20	62,1	0,20690840	0,000786	0,263	0,658
2	30	61,5	0,21112488	0,000786	0,269	0,672

Fuente: Presente Investigación

CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE EN EL SISTEMA (MEZCLA: 2 gr DOLOMITA CALCINADA A 1050°C CON 100 mL DE SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE, 1 gr/Lt)

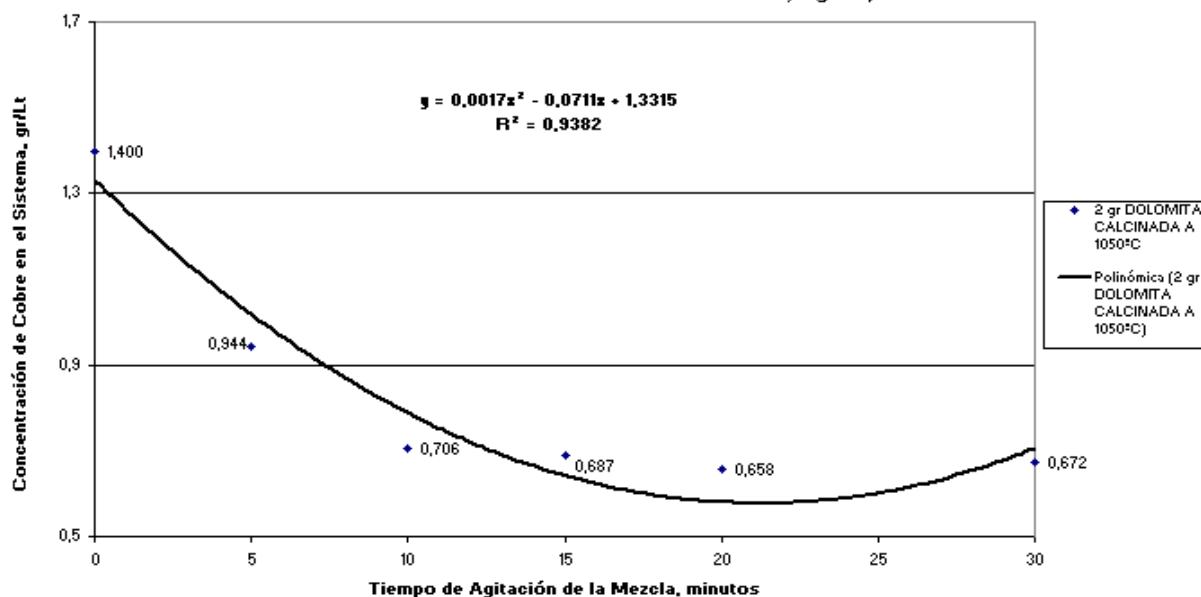


FIGURA Nº 66: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 1050°C

9.1.5.3.6. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA

Condiciones de la Prueba:

Dolomita: Agregados Calcáreos

Temperatura de Tostación de Dolomita = 1050°C

Tiempo de Tostación: 1 hora

Peso de la dolomita= 2 grs.

Volumen de Solución Lixivante= 100 ml de Solución de CuSO₄

Concentración Inicial de CuSO₄ = 3,6 gr/lit

Concentración de Solución Lixivante= 0,5gr/Lt Cu.

Porcentaje de Reducción de Cobre: 73.43%

MUESTRAS DE DOLOMITA PARA ADSORCIÓN DE COBRE (DOLOMITA CALCINADA)						
Mezcla (2gr. Dolomita +100 ml de Solución de CuSO ₄						
PESO (g.)	TIEMPO (min)	TRANSMITANCIA	ABSORBANCIA	CONSTANTE (K)	Conc. Cu en Muestra (gr/Lt)	Conc. Cu total en Sistema (gr/Lt)
2	0	37,5	0,425968732	0,000786	0,542	0,813
2	5	39,7	0,401209493	0,000786	0,510	0,766
2	10	54,6	0,262807357	0,000786	0,334	0,502
2	15	61,4	0,211831629	0,000786	0,270	0,404
2	20	70,6	0,151195299	0,000786	0,192	0,289
2	30	77,1	0,112945622	0,000786	0,144	0,216

Fuente: Presente Investigación

CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE EN EL SISTEMA (MEZCLA: 2 gr DOLOMITA CALCINADA A 1050°C CON 100 mL DE SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE, 0.5 gr/Lt Cu)

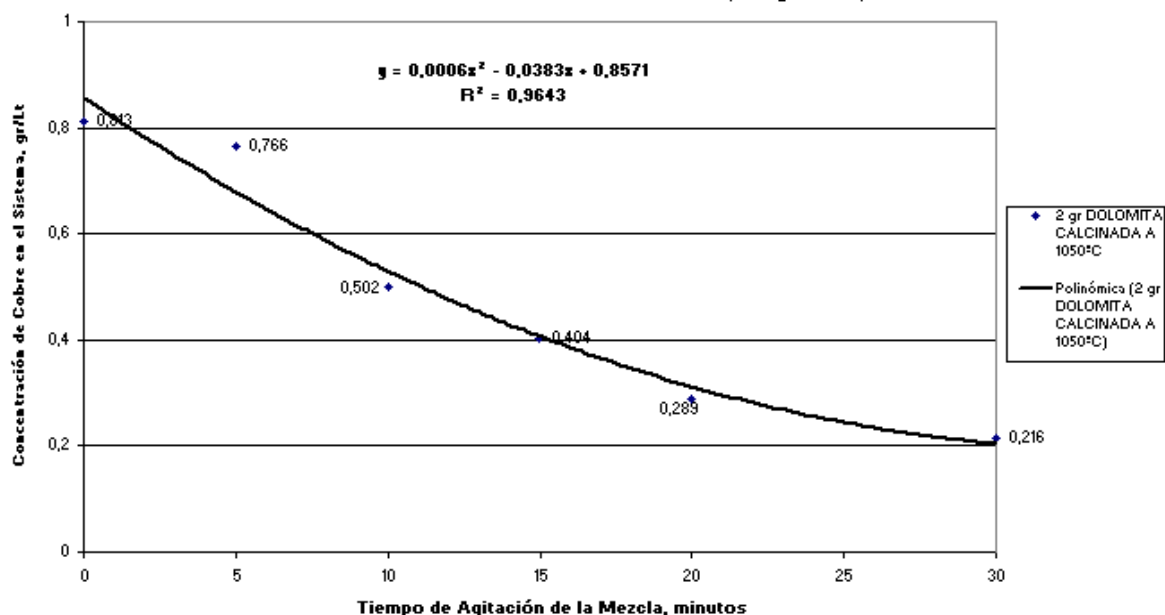


FIGURA Nº 67: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 1050°C

9.1.5.4. CONTRIBUCIÓN DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN, MODELO Y SIMULACIÓN DEL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS

$$\ln \alpha = K t$$

$$K = [K_t * K_{(\text{Tamaño de Partícula})} * K_{(\text{Cu}^{+2})} * K_{(\text{S/L})} * K_{(\text{RPM})}] * t$$

9.1.5.4.1. INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS:

9.1.5.4.1.1. CONTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE DOLOMITA CON LA CINÉTICA DE REMEDIACIÓN.

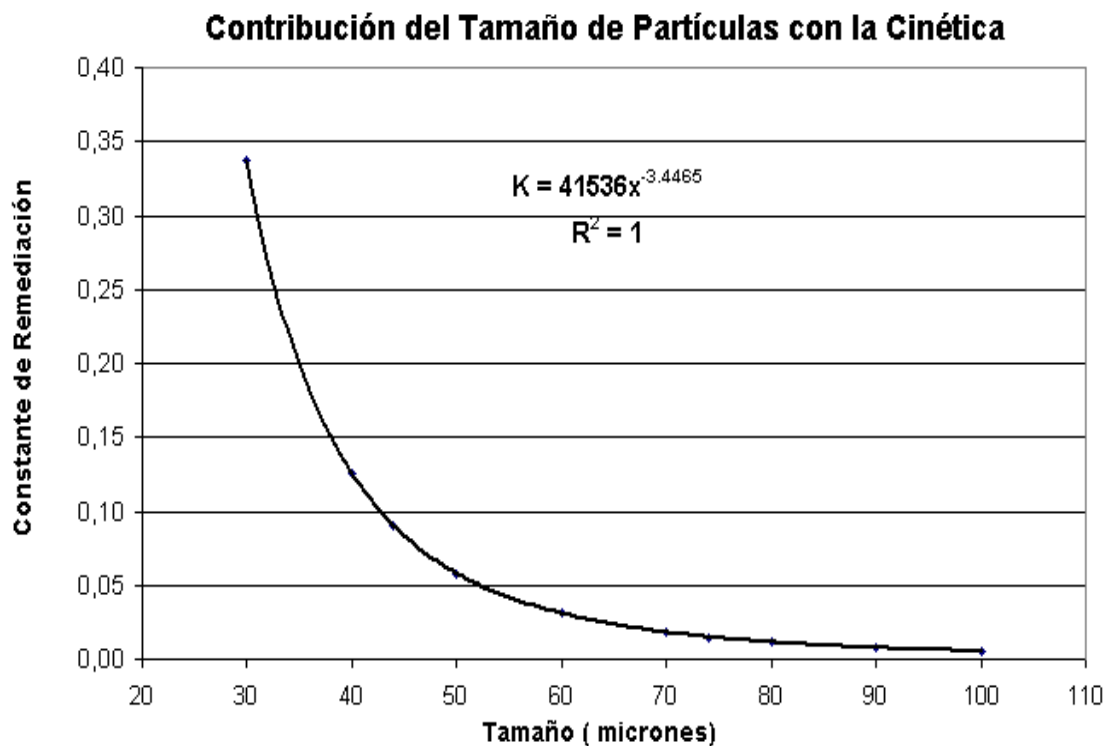
PESO	Tamaño (micrones)	K	Ln K	Ln Tamaño	LnK
2	44	0,09	- 2,407945609	3,78418963	-2,40794561
2	74	0,015	- 4,199705078	4,30406509	-4,19970508

Intercepto= 10,6343273

Pendiente = -3,44651673

9.1.5.4.1.2. SIMULACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO CON K DE REMEDIACIÓN

TAMAÑO	K
30	0,3369042873
40	0,1249980078
44	0,0900000000
50	0,0579296774
60	0,0309030696
70	0,0181663798
74	0,0150000000
80	0,0114656366
90	0,0076401195
100	0,0053136897



$$K_{\text{Tamaño}} = 41536 d^{-3.4465}$$

FIGURA Nº 68: DIAGRAMA DE LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE DOLOMITA QUE INTERVIENE EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE COBRE CON DOLOMITA

9.1.5.4.1.3. EFLUENTE METALURGICO DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI TRATADO CON DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARIA.

PESO	TEMPERATURA (°C)	K	Ln K	1/T	LnK	K
2	700	0,0135	-4,30506559	0,001027644	-4,359941	0,012779134
2	900	0,0885	-2,42475272	0,000852442	-2,226289	0,107928204
2	1000	0,2816	-1,26726765	0,000785484	-1,410855	0,243934542

Pendiente=-12178,28697

Intercepto=8,154997255

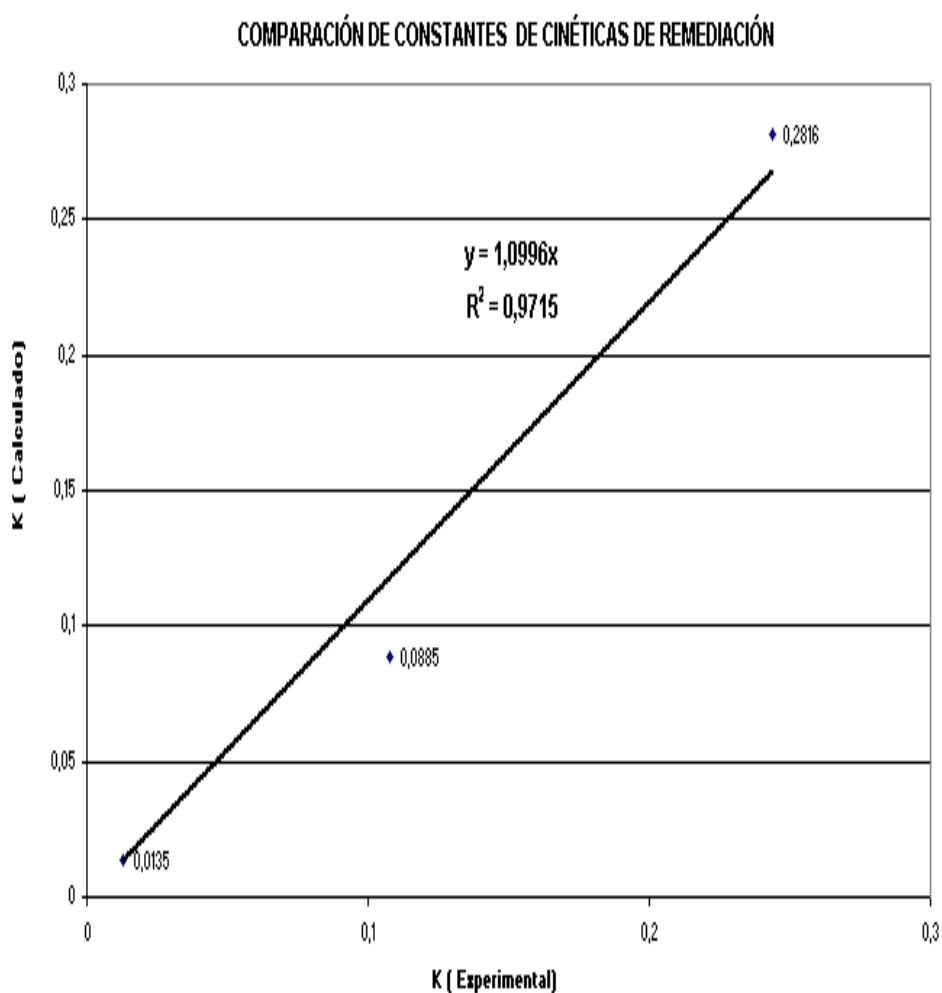


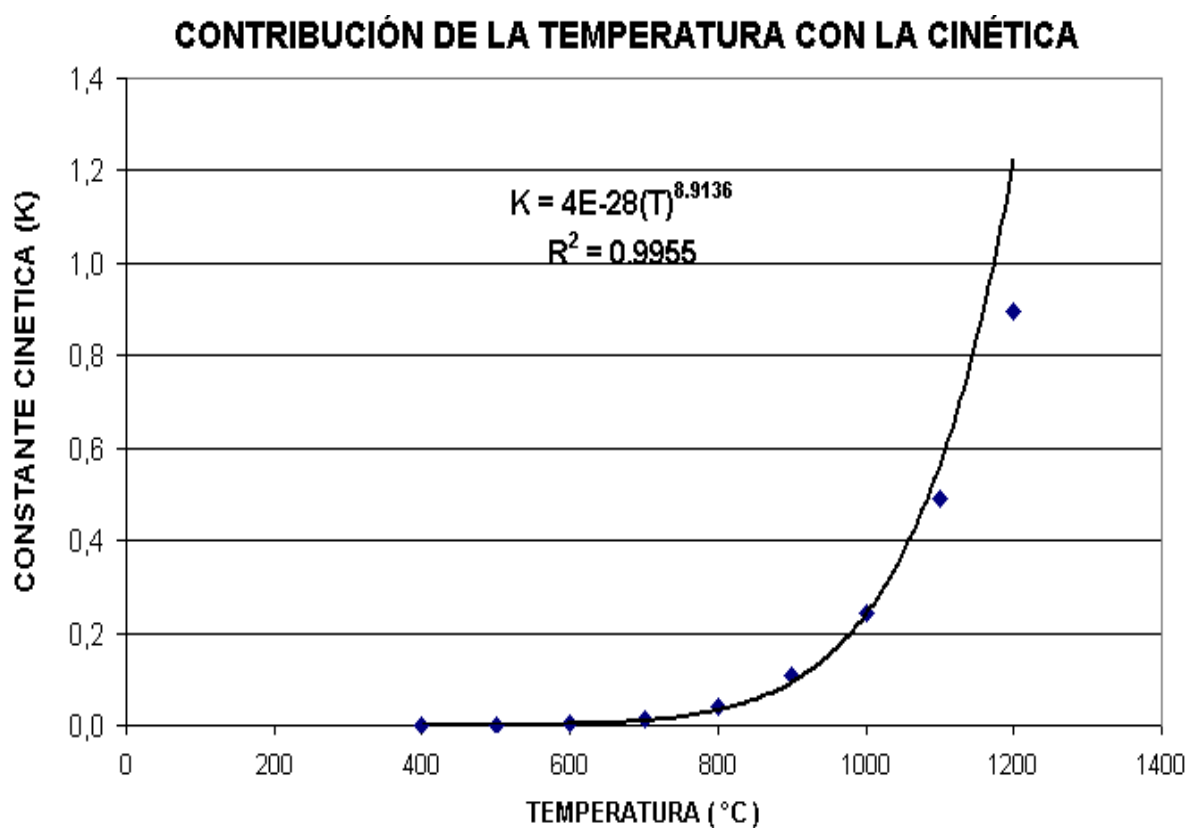
FIGURA Nº 69: CURVA DE PARÁMETROS K DE LA CINÉTICAS DE ADSORCIÓN DEL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN

9.1.5.4.1.3.1. CONTRIBUCION DE LA TEMPERATURA DE TOSTACIÓN DE DOLOMITA CON PARÁMETRO K DE REMEDIACIÓN:

$$\text{Ln K} = 8,154997255 - \frac{12178,28697}{T}$$

9.1.5.4.1.3.2. SIMULACION DE LA CONTRIBUCION DE LA TEMPERATURA EN K

TEMPERATURA (°C)	K (Calculado)
400	4,83117E-05
500	0,000501684
600	0,003047808
700	0,012779134
800	0,041019819
900	0,107928204
1000	0,243934542
1100	0,489586398
1200	0,89393908



$$K_T = 4 \times 10^{-28} (T)^{8.9136}$$

FIGURA Nº 70 : DIAGRAMA DE LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE DE TEMPERATURA EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE COBRE CON DOLOMITA

9.1.5.4.1.4. EFLUENTE DE LIXIVIACIÓN, SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE TRATADO CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS.

PESO	TEMPERATURA	K	MALLA	ABERTURA (MICRONES)	CONC.CU gr/Lt
2	1000°C	0.0264	-325	44	3
2	1000°C	0.0324	-325	44	2.5

9.1.5.4.1.4.1. CONTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL Cu^{+2} CON LA CINÉTICA DE REMEDIACIÓN.

PESO	Cu (+2)	K	Ln K	Ln Cu+2	LnK
2	3	0,0164	-4,110473944	1,09861229	-4,110473944
2	2,5	0,0324	-3,429596856	0,91629073	-3,429596856

Pendiente=-3,73448483

Intercepto=-0,007723018

9.1.5.4.1.4.2. SIMULACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DE LA Cu^{+2} CON K DE REMEDIACIÓN.

Cu^{+2}	K
0,60	6,6855436033
1,00	0,9923067274
1,50	0,2182909848
2,00	0,0745510876
2,50	0,0324000000
3,00	0,0164000000
3,50	0,0092221478
4,00	0,0056009543

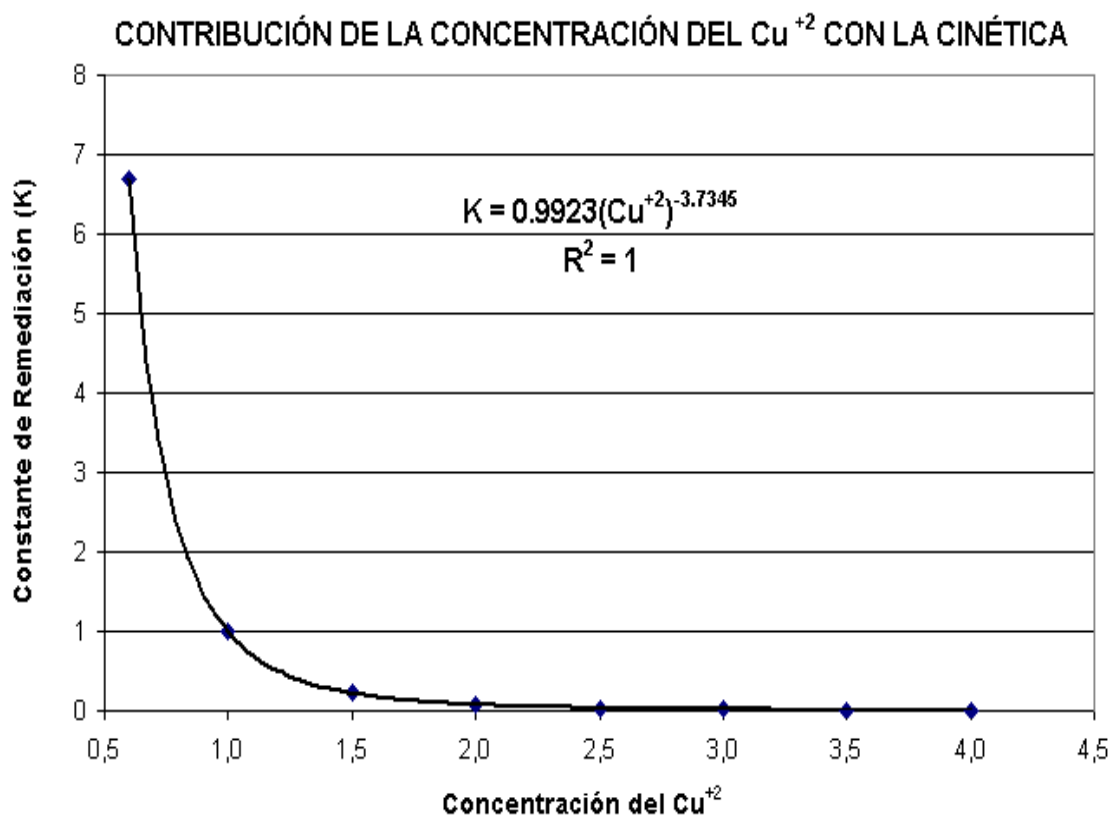


FIGURA Nº 71: DIAGRAMA DE LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE DE LA CONCENTRACIÓN DE COBRE EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE COBRE CON DOLOMITA

9.1.5.4.1.5. CONTRIBUCIÓN DE LA RELACIÓN S/L CON LA CINÉTICA DE REMEDIACIÓN.

Peso	S/L	K	Ln K	Ln(S/L)
2	0,02	0,0135	-4,305065594	-3,91202301
4	0,04	0,004	-5,521460918	-3,21887582

Pendiente = -1,754887502

Intercepto = -11,17022587

9.1.5.4.1.5.1. SIMULACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DE LA RELACIÓN S/L CON LA CINÉTICA DE REMEDIACIÓN.

S/L	K
0,01	0,04556250
0,02	0,01350000
0,03	0,00662695
0,04	0,00400000
0,05	0,00270392
0,06	0,00196354
0,07	0,00149815
0,08	0,00118519
0,09	0,00096387
0,1	0,00080116

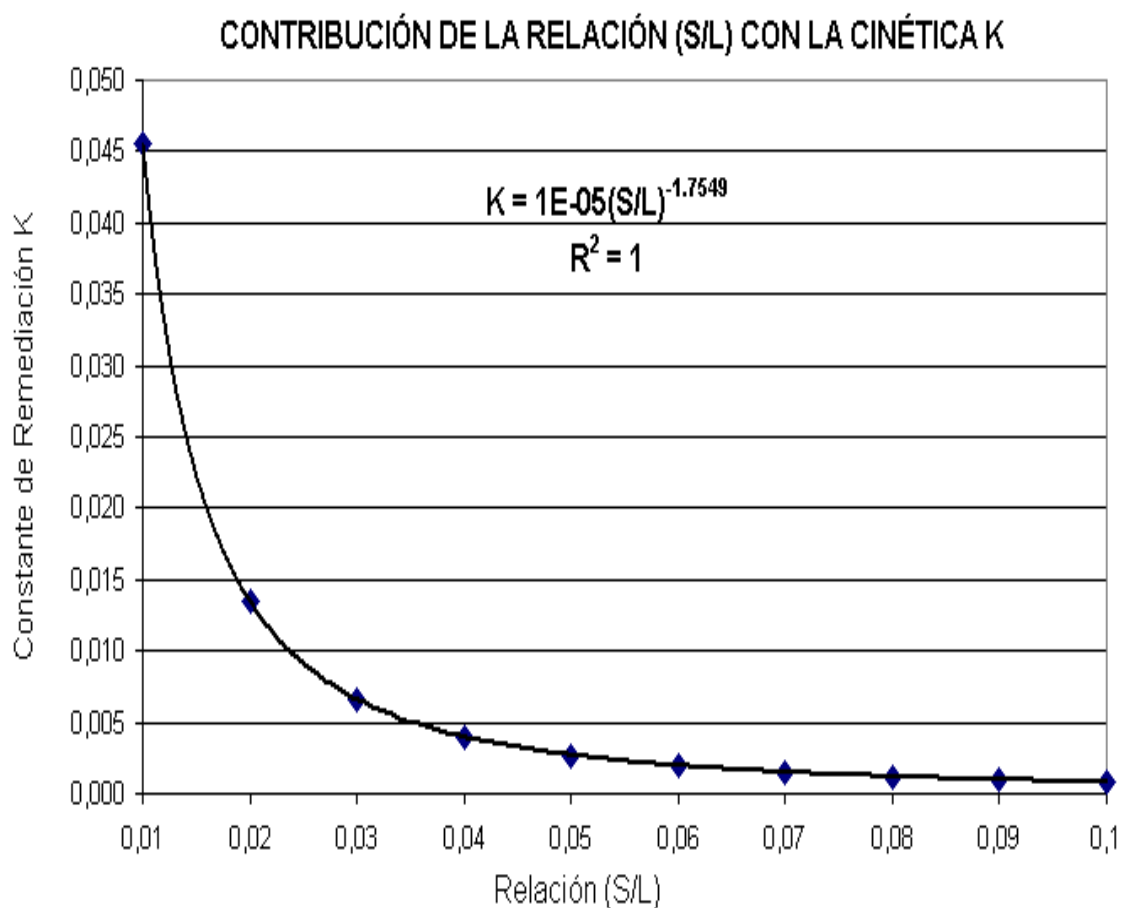


FIGURA Nº 72: DIAGRAMA DE LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE DE LA RELACIÓN SÓLIDO/LÍQUIDO, (S/L) EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE COBRE CON DOLOMITA

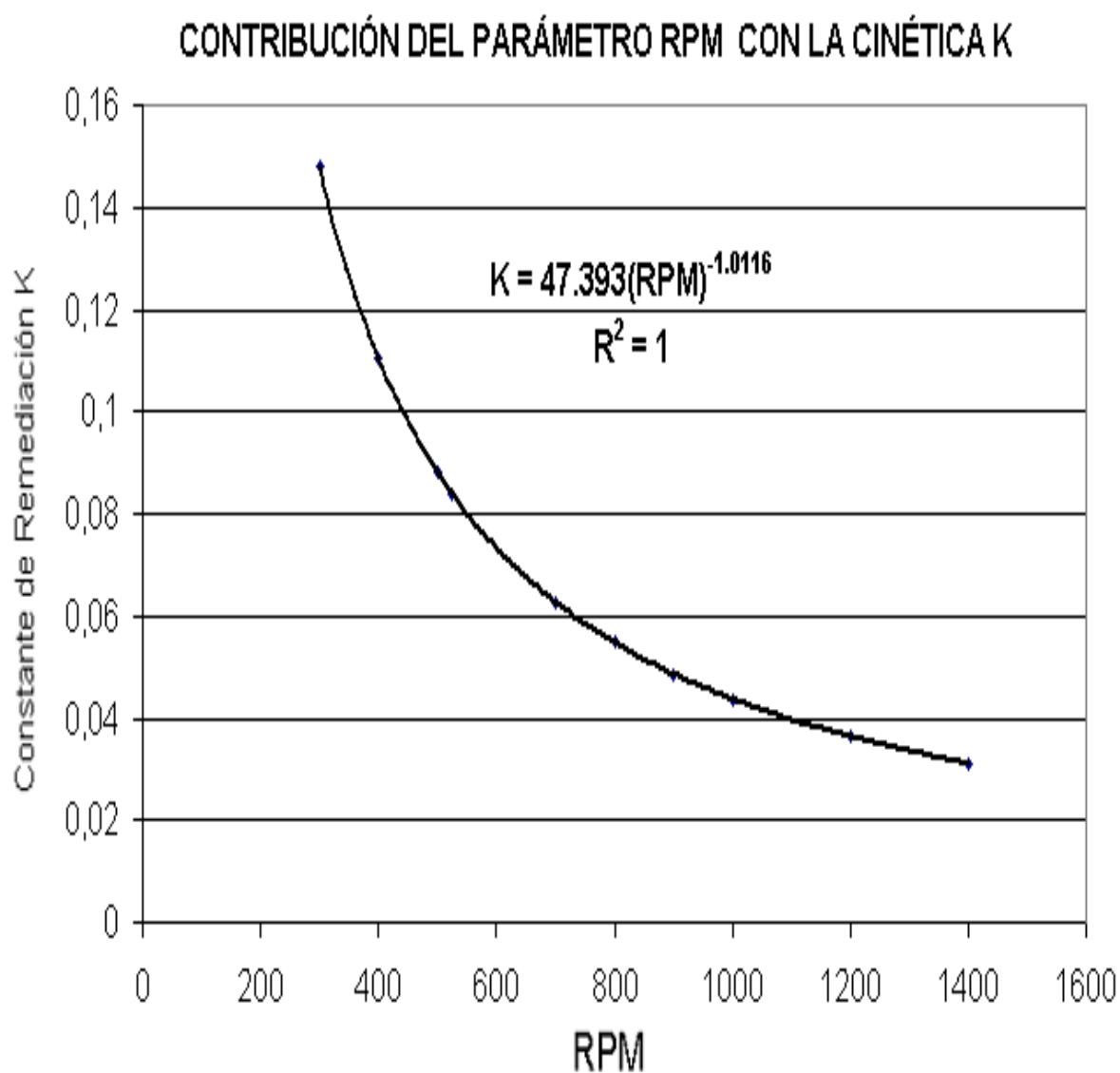
9.1.5.4.1.6. SIMULACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DE LOS RPM CON LA CINÉTICA DE REMEDIACIÓN

K	RPM	Ln K	Ln RPM
0,0135	525	-4,305065594	6,263398263
0,1475	525	-1,913927103	6,263398263
0,0885	525	-2,424752727	6,263398263
0,2816	525	-1,267267655	6,263398263
0,0912	700	-2,394700382	6,551080335
0,12145	700	-2,108252624	6,551080335
0,0748	700	-2,592937394	6,551080335
0,0187	700	-3,979231755	6,551080335

Pendiente = -1,011628102

Intersección =3,858476429

RPM	K
300	0,147839181
400	0,110509092
500	0,088178177
525	0,083931586
700	0,062738465
800	0,054810985
900	0,048654193
1000	0,043735159
1200	0,036368781
1400	0,031117413



$$K_{RPM} = 47.393 (RPM)^{-1.0116}$$

FIGURA Nº 73: DIAGRAMA DE LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE DE LA VELOCIDAD DE AGITACIÓN DE LA MEZCLA A TRATAR (RPM) EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE COBRE CON DOLOMITA

9.1.5.4.1.7. ECUACIÓN GENERAL DEL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS :

La Ecuación General que sistematiza la influencia de cada una de las variables de operación que intervienen en el Tratamiento de Remediación de los Efluentes Metalúrgicos de Flotación y de Lixiviación de Minerales Sulfurados y Oxidados de Cobre respectivamente, está dada por la siguiente ecuación General:

$$\ln \alpha = K t$$

$$K = (K_T * K_{\text{Tamaño}} * K_{(\text{Cu}+2)} * K_{(\text{S/L})} * K_{\text{RPM}}) * t$$

Donde:

K_T : Constante de Remediación General; $K_T = 4 \times 10^{-28} (T)^{8,9136}$

$K_{\text{tamaño}}$: Constante de Tamaño de partícula de dolomita

$$K_{\text{Tamaño}} = 41536 X^{-3.4465}$$

$K_{(\text{Cu}+2)}$: Constante de Concentración de ión Cobre presente en el efluente metalúrgico a tratar; $K_{(\text{Cu}+2)} = 0,9923 (Cu^{+2})^{-3,7345}$

$K_{(\text{S/L})}$: Constante de relación Sólido-Líquido empleado en el tratamiento de remediación ; $K_{(\text{S/L})} = 1 \times 10^{-5} (\text{S/L})^{-1.7549}$

K_{RPM} : Constante de Velocidad de Agitación de la mezcla, revoluciones por minuto.

$$K_{\text{RPM}} = 47.393 (\text{RPM})^{-1.0116}$$

$$K = [(((4 \times 10^{-28} (T)^{8,9136}) * (41536 (d)^{-3.4465}) * (0,9923 [Cu^{+2}]^{-3,7345}) * (1 \times 10^{-5} (\text{S/L})^{-1.7549}) * (47.393 (\text{RPM})^{-1.0116})))] \times T$$

9.1.5.5. DIAGRAMAS DE SIMULACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS CON DOLOMITA.

9.1.5.5.1. DIAGRAMAS DE SIMULACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA VARIABLE DE OPERACIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA DE LA DOLOMITA EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS.

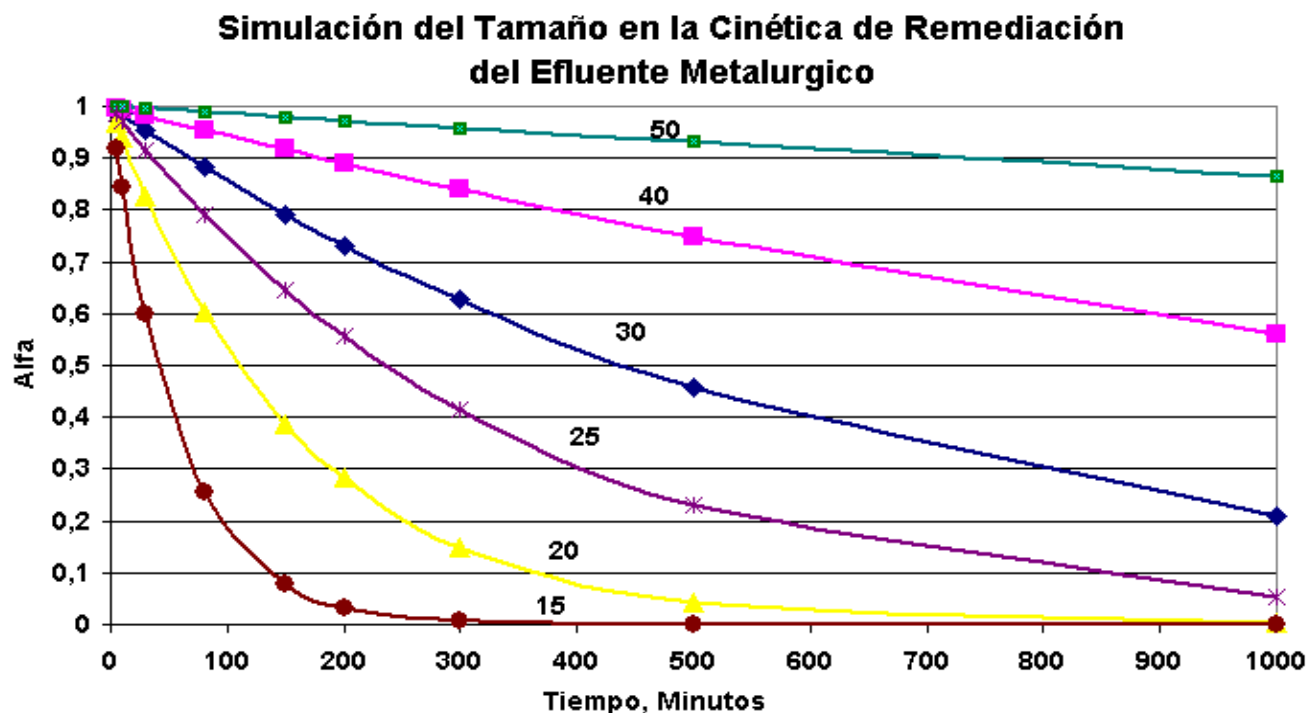


FIGURA Nº 74: DIAGRAMA DE SIMULACIÓN DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS CON DOLOMITA, TENIENDO EN CUENTA LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE DE OPERACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

9.1.5.5.2. DIAGRAMAS DE SIMULACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA VARIABLE DE OPERACIÓN DE TEMPERATURA DE TOSTACIÓN DE LA DOLOMITA EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS.

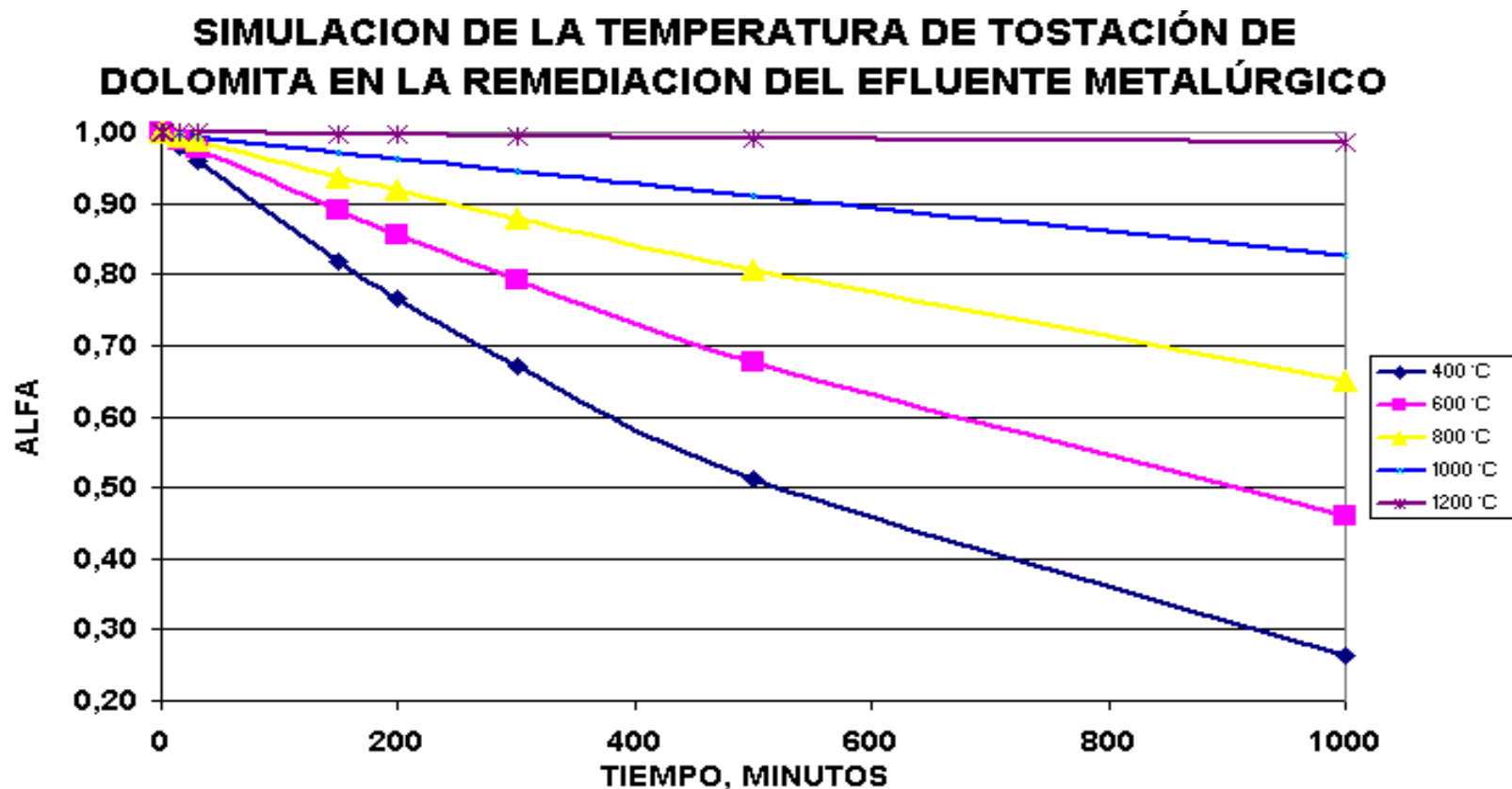


FIGURA Nº 75: DIAGRAMA DE SIMULACIÓN DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS CON DOLOMITA, TENIENDO EN CUENTA LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE DE OPERACIÓN A LA TEMPERATURA DE TOSTACIÓN DE LA DOLOMITA

9.1.5.5.3. DIAGRAMAS DE SIMULACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA VARIABLE DE OPERACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE COBRE DISUELTO PRESENTE EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS.

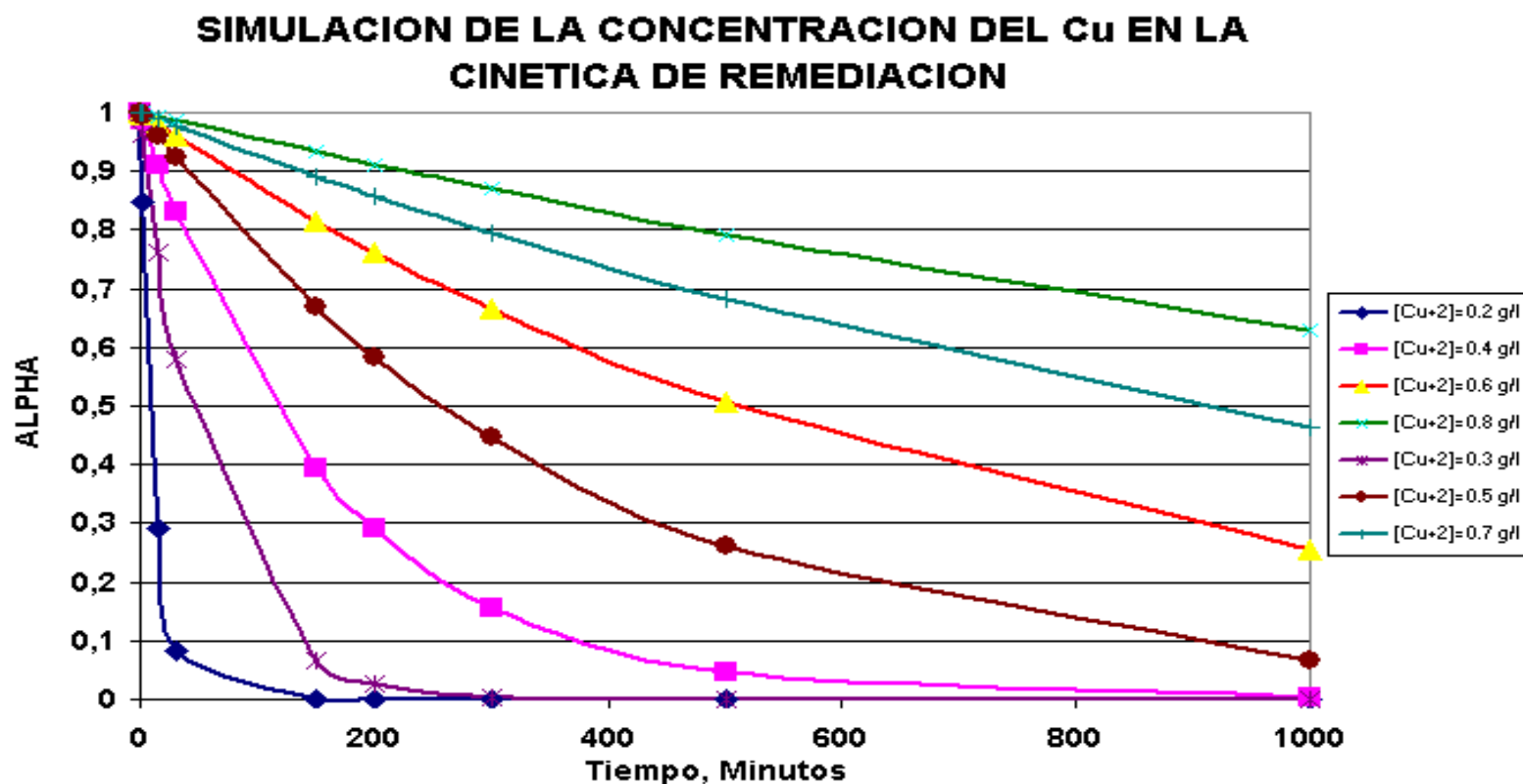


FIGURA Nº 76: DIAGRAMA DE SIMULACIÓN DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS CON DOLOMITA, TENIENDO EN CUENTA LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE DE OPERACIÓN A LA CONCENTRACIÓN DE COBRE PRESENTE EN EL EFLUENTE METALÚRGICO

9.1.5.5.4. DIAGRAMAS DE SIMULACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA VARIABLE DE OPERACIÓN DE RELACIÓN SÓLIDO/LÍQUIDO EMPLEADO EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS.

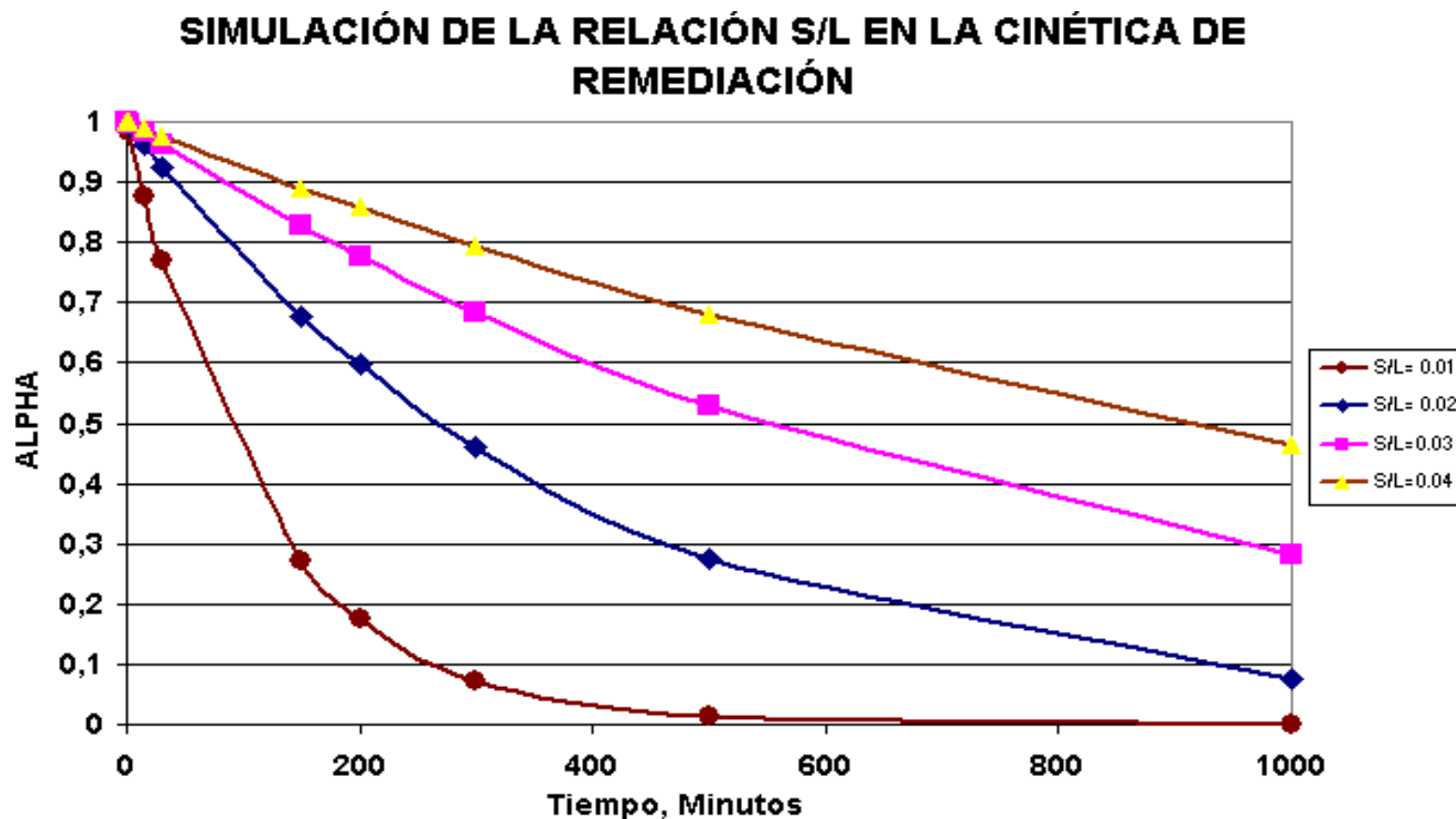


FIGURA Nº 77: DIAGRAMA DE SIMULACIÓN DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS CON DOLOMITA, TENIENDO EN CUENTA LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE DE OPERACIÓN DE LA RELACIÓN SÓLIDO/LÍQUIDO.

9.1.5.5.5. DIAGRAMAS DE SIMULACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA VARIABLE DE OPERACIÓN DE VELOCIDAD DE AGITACIÓN DE LA MEZCLA, RPM, EMPLEADO EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS.

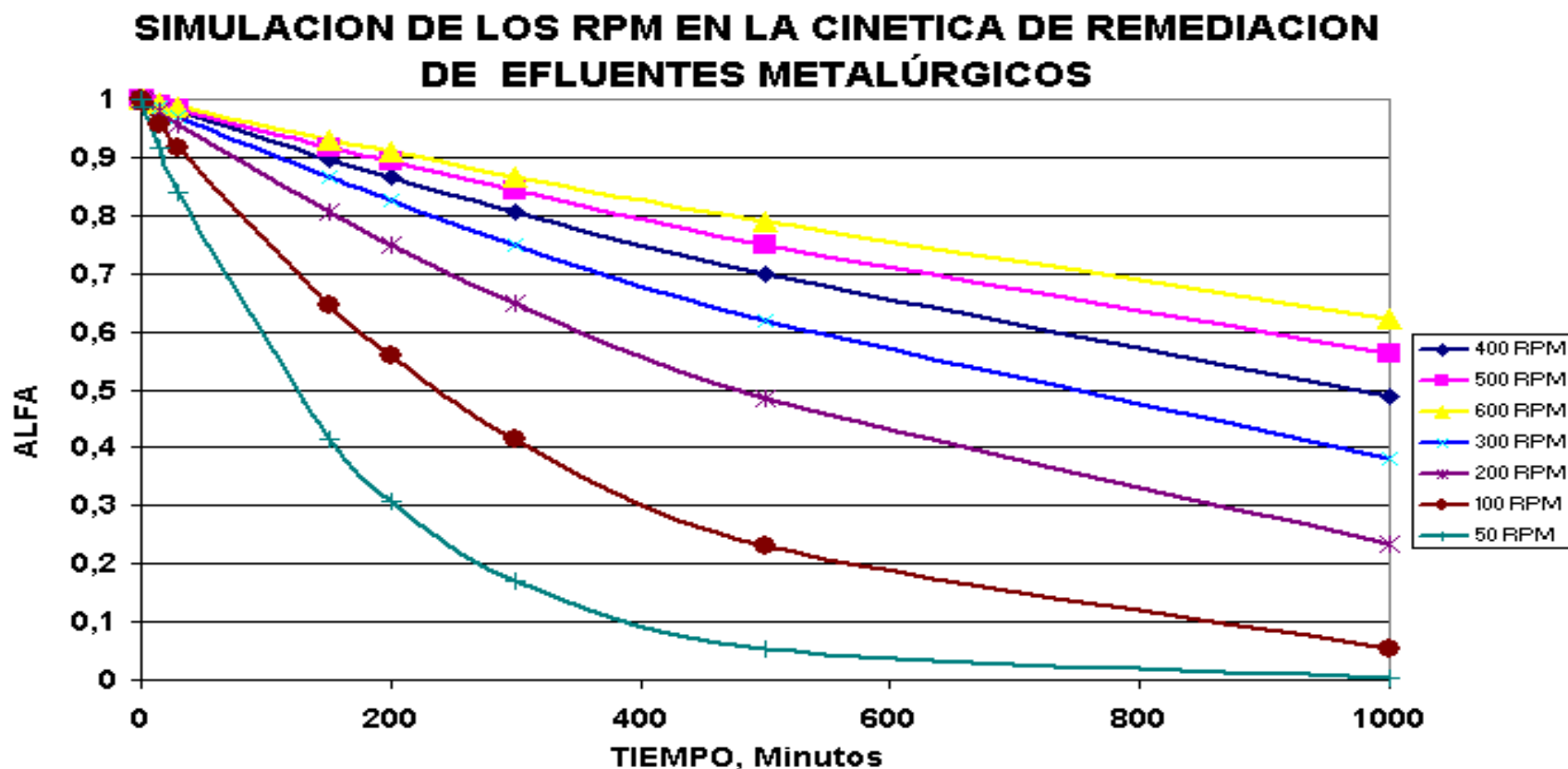


FIGURA Nº 78 : DIAGRAMA DE SIMULACIÓN DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS CON DOLOMITA, TENIENDO EN CUENTA LA CONTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE DE OPERACIÓN DE LAS RPM (VELOCIDAD DE AGITACIÓN DE LA MEZCLA)

CAPITULO X

DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS

10.1. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE EN EL SISTEMA

CASO I: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE EN SISTEMA (MEZCLA: DOLOMITA NATURAL EN EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI).

DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA EN ESTADO CALCINADO:

1) SISTEMA: 2 gr. DOLOMITA CALCINADA A 800°C EN 100 ml DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN.

Según la Figura N° 36 que representa a la Cinética de Adsorción de Cobre con dolomita en el Sistema, se deduce que la concentración inicial de cobre es igual a 0.511 gr/Lt, y se puede observar que la concentración de cobre disminuye cuando el Sistema es sometido durante 15 minutos de agitación, cuya concentración de cobre tendrá un valor de 0,066 gr/Lt y posee un porcentaje de reducción de 87.09%.

2) SISTEMA: 2 gr. DOLOMITA CALCINADA A 900°C EN 100 ml DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN.

Según la Figura N° 38 que representa a la Cinética de Adsorción de Cobre con dolomita en el Sistema se deduce que la concentración inicial de cobre es igual a 0.408 gr/Lt, y se puede observar que la concentración de cobre disminuye cuando el Sistema es sometido durante 30 minutos de agitación, cuya concentración de cobre tendrá un valor de 0.039 gr/Lt, y posee un porcentaje de reducción de 90.44%.

3) SISTEMA: 2 gr. DOLOMITA CALCINADA A 1000°C EN 100 ml DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN.

Según la Figura N° 40 que representa a la Cinética de Adsorción de Cobre con dolomita en el Sistema, se deduce que la concentración inicial de cobre es igual a 0.561 gr/Lt, y se puede observar que la concentración de cobre disminuye cuando el Sistema es sometido durante 10 minutos de agitación, cuya concentración de cobre tendrá un valor de 0.031 gr/Lt, y posee un porcentaje de reducción de 94.47%.

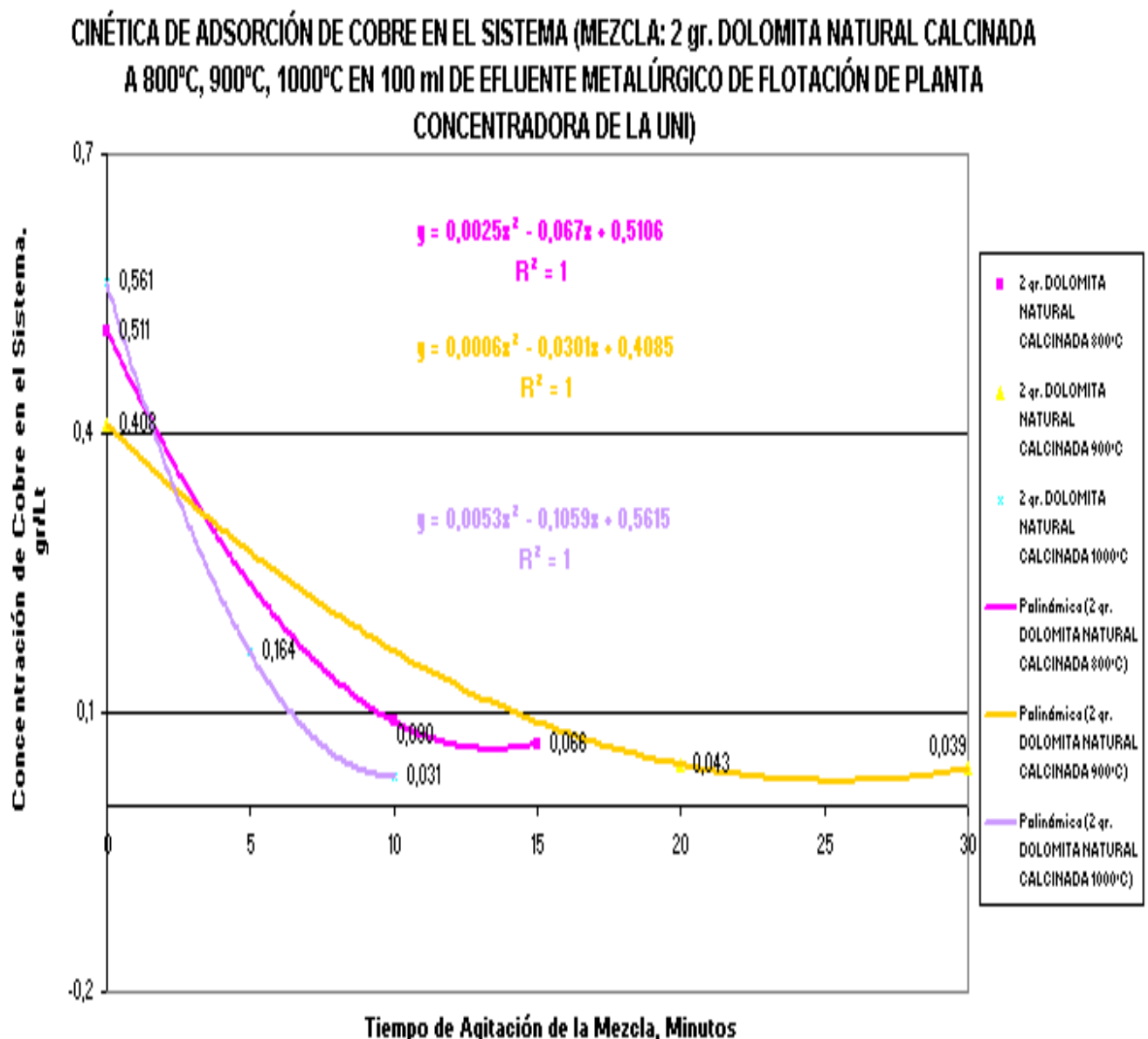


FIGURA N° 79: CURVAS DE COMPARACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS DE FLOTACIÓN TRATADOS CON 2 gr. DOLOMITA NATURAL CALCINADA A 800C, 900°C Y 1000°C

CASO II: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE EN SISTEMA (MEZCLA: DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS EN EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN.

DOLOMITA EN ESTADO SIN CALCINAR:

1) SISTEMA: 2 gr. DOLOMITA SIN CALCINAR EN 100 ml DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN.

Según la Figura N° 44 que representa a la Cinética de Adsorción de Cobre con dolomita en el Sistema, se deduce que la concentración inicial de cobre es igual a 0.269 gr/Lt, y se puede observar que la concentración de cobre disminuye cuando el Sistema es sometido durante 20 minutos de agitación, cuya concentración de cobre tendrá un valor de 0.007 gr/Lt, y posee un porcentaje de reducción de 97.39%.

DOLOMITA EN ESTADO CALCINADO:

1) SISTEMA: 2 gr. DOLOMITA CALCINADA A 500°C EN 100 ml DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN.

Según la Figura N° 46 que representa a la Cinética de Adsorción de Cobre con dolomita en el Sistema, se deduce que la concentración inicial de cobre es igual a 0.123 gr/Lt, y se puede observar que la concentración de cobre disminuye cuando el Sistema es sometido durante 10 minutos de agitación, cuya concentración de cobre tendrá un valor de 0.011 gr/Lt, y posee un porcentaje de reducción de 91.06%.

2) SISTEMA: 1 gr. DOLOMITA CALCINADA A 700°C EN 100 ml DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN.

Según la Figura N° 48 que representa a la Cinética de Adsorción de Cobre con dolomita en el Sistema, se deduce que la concentración inicial de cobre es igual a 0,308 gr/Lt, y se puede observar que la concentración de cobre disminuye cuando el Sistema es sometido durante 30 minutos de agitación, cuya concentración de cobre tendrá un valor de 0.018 gr/Lt, y posee un porcentaje de reducción de 94.16%.

3) SISTEMA: 2 gr. DOLOMITA CALCINADA A 700°C EN 100 ml DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN.

Según la Figura N° 50 que representa a la Cinética de Adsorción de Cobre con dolomita en el Sistema, se deduce que la concentración inicial de cobre es igual a 0,429 gr/Lt, y se puede observar que la concentración de cobre disminuye cuando el Sistema es sometido durante 15 minutos de agitación, cuya concentración de cobre tendrá un valor de 0.045 gr/Lt, y posee un porcentaje de reducción de 89.51%.

4) SISTEMA: 4 gr. DOLOMITA CALCINADA A 700°C EN 100 ml DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN.

Según la Figura N° 52 que representa a la Cinética de Adsorción de Cobre con dolomita en el Sistema, se deduce que la concentración inicial de cobre es igual a 0,831 gr/Lt, y se puede observar que la concentración de cobre disminuye cuando el Sistema es sometido durante 15 minutos de agitación, cuya concentración de cobre tendrá un valor de 0.025 gr/Lt, y posee un porcentaje de reducción de 96.99%.

5) SISTEMA: 2 gr. DOLOMITA CALCINADA A 800°C EN 100 ml DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN.

Según la Figura N° 54 que representa a la Cinética de Adsorción de Cobre con dolomita en el Sistema, se deduce que la concentración inicial de cobre es igual a 0,861 gr/Lt, y se puede observar que la concentración de cobre disminuye cuando el Sistema es sometido durante 20 minutos de agitación, cuya concentración de cobre tendrá un valor de 0.046 gr/Lt, y posee un porcentaje de reducción de 94.66%.

6) SISTEMA: 4 gr. DOLOMITA CALCINADA A 800°C EN 100 ml DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN.

Según la Figura N° 56 que representa a la Cinética de Adsorción de Cobre con dolomita en el Sistema, se deduce que la concentración inicial de cobre es igual a 0,375 gr/Lt, y se puede observar que la concentración de cobre disminuye cuando el Sistema es sometido durante 20 minutos de agitación, cuya concentración de cobre tendrá un valor de 0.034 gr/Lt, y posee un porcentaje de reducción de 90.93%.

7) SISTEMA: 3 gr. DOLOMITA CALCINADA A 900°C EN 100 ml DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN.

Según la Figura N° 58 que representa a la Cinética de Adsorción de Cobre con dolomita en el Sistema, se deduce que la concentración inicial de cobre es igual a 0,519 gr/Lt, y se puede observar que la concentración de cobre disminuye cuando el Sistema es sometido durante 30 minutos de agitación, cuya concentración de cobre tendrá un valor de 0.025 gr/Lt, y posee un porcentaje de reducción de 95.18%.

CASO III: CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE EN SISTEMA (MEZCLA: DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS EN SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE:

DOLOMITA EN ESTADO CALCINADO:

1) SISTEMA: 2 gr. DOLOMITA CALCINADA A 700°C EN 100 ml SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE : $[Cu^{+2}]_0 = 1.28 \text{ gr/Lt}$ y $[Cu^{+2}]_F = 1 \text{ gr/Lt}$

Según la Figura N° 62 que representa a la Cinética de Adsorción de Cobre con dolomita en el Sistema, se deduce que la concentración inicial de cobre es igual a 1.185 gr/Lt, y se puede observar que la concentración de cobre disminuye cuando el Sistema es sometido durante 30 minutos de agitación, cuya concentración de cobre tendrá un valor de 0.061 gr/Lt, y posee un porcentaje de reducción de 94.85%.

2) SISTEMA: 2 gr. DOLOMITA CALCINADA A 700°C EN 100 ml SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE : $[Cu^{+2}]_0 = 1.28 \text{ gr/Lt}$ y $[Cu^{+2}]_F = 0.5 \text{ gr/Lt}$

Según la Figura N° 64 que representa a la Cinética de Adsorción de Cobre con dolomita en el Sistema, se deduce que la concentración inicial de cobre es igual a 0.521 gr/Lt, y se puede observar que la concentración de cobre disminuye cuando el Sistema es sometido durante 20 minutos de agitación, cuya concentración de cobre tendrá un valor de 0.026 gr/Lt, y posee un porcentaje de reducción de 95%.

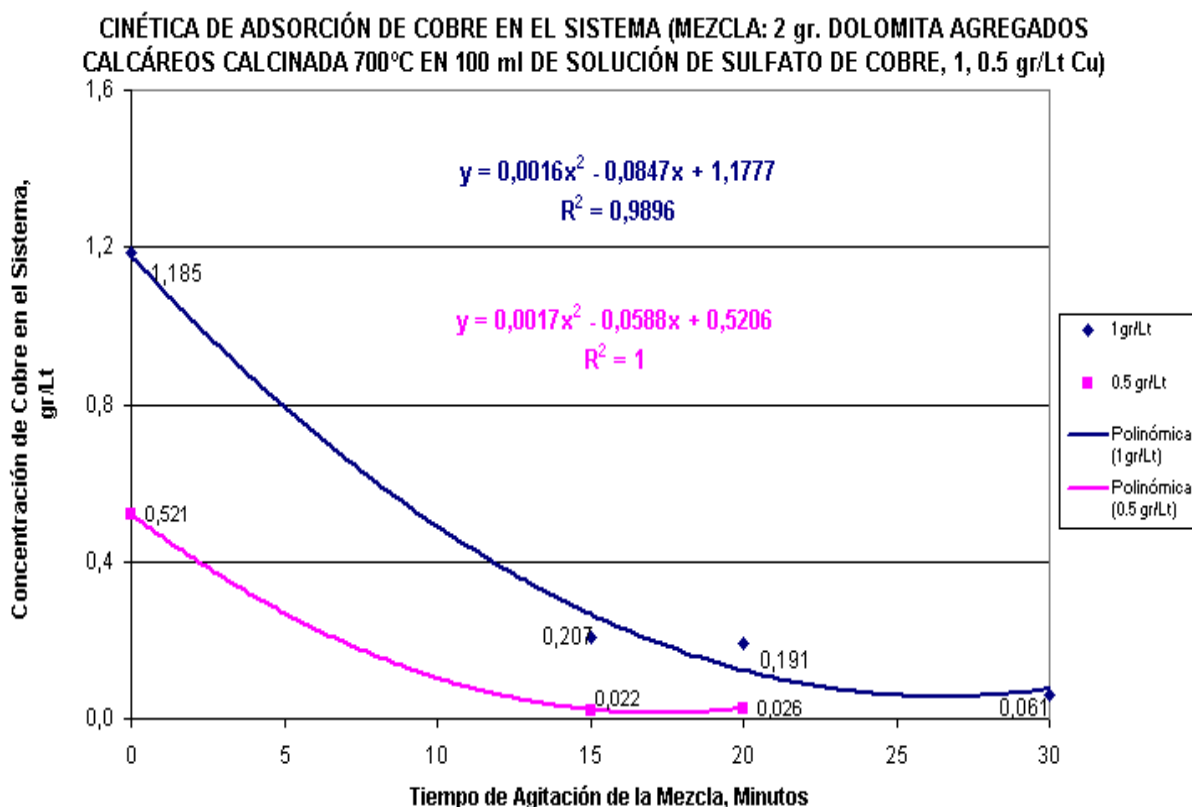


FIGURA Nº 80: CURVAS DE COMPARACIÓN DE LA CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE COBRE CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 700°C, CON CONCENTRACIÓN DE 0.5 gr/Lt Y 1 gr/Lt

3) SISTEMA: 2 gr. DOLOMITA CALCINADA A 1000°C EN 100 ml SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE: $[Cu^{+2}]_0 = 3.6$ gr/Lt y $[Cu^{+2}]_F = 1$ gr/Lt.

Según la Figura Nº 66 que representa a la Cinética de Adsorción de Cobre con dolomita en el Sistema, se deduce que la concentración inicial de cobre es igual a 1.4 gr/Lt, y se puede observar que la concentración de cobre disminuye cuando el Sistema es sometido durante 30 minutos de agitación, cuya concentración de cobre tendrá un valor de 0.672 gr/Lt, y posee un porcentaje de reducción de 52%.

4) SISTEMA: 2 gr. DOLOMITA CALCINADA A 1050°C EN 100 ml SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE: $[Cu^{+2}]_0 = 3.6$ gr/Lt y $[Cu^{+2}]_F = 0.5$ gr/Lt.

Según la Figura Nº 67 que representa a la Cinética de Adsorción de Cobre con dolomita en el Sistema, se deduce que la concentración inicial de cobre es igual a 0.813 gr/Lt, y se puede observar que la concentración de cobre disminuye cuando el Sistema es sometido durante 30 minutos de agitación, cuya concentración de cobre tendrá un valor de 0.216 gr/Lt, y posee un porcentaje de reducción de 73.43%.

10.2. DIAGRAMAS DE SIMULACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN QUE INFLUYEN EN EL TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS CON DOLOMITA.

Las Figuras N° 68, 70, 71, 72 y 73 hacen referencia a la contribución de cada una de las variables de operación que intervienen en el Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos, entre ellas tenemos a: Tamaño de Partícula de Dolomita, Temperatura de Tostación de la Dolomita, Concentración de Cobre presente en el Efluente Metalúrgico, Relación Sólido-Líquido y Velocidad de Agitación de la Mezcla (RPM).

En la Figura N° 74, se empleo la Simulación de los Datos Experimentales de las Variables de Operación que intervienen en el Cinética Química del Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos de Flotación de Minerales Sulfurados de Cobre y la Lixiviación de Minerales Oxidados de Cobre.

Cabe resaltar que las Variables de Operación que se emplearon tenemos:

- Tiempo de Agitación de la Mezcla: 0-1000 minutos
- RPM: 200
- S/L: 0,02
- [Cu+2] : 1,5 gr/Lt.
- Temperatura de Tostación de Dolomita: 400°C.
- Tamaño de Partícula: 15 μ , 20 μ , 25 μ , 30 μ , 40 μ , 60 μ

Siendo la Variable de Operación a evaluar, el Tamaño de Partícula de la dolomita. Se observa que a menor tamaño de partícula, el tamaño de abertura de 15 micrones, presenta mayor cinética de remediación del efluente metalúrgico con la dolomita.

En la Figura N° 75, se empleo la Simulación de los Datos Experimentales de las Variables de Operación que intervienen en el Cinética Química del Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos de Flotación de Minerales Sulfurados de Cobre y la Lixiviación de Minerales Oxidados de Cobre.

Cabe resaltar que las Variables de Operación que se emplearon tenemos:

- Tamaño de Partícula: 54 μ
- Tiempo de Agitación de la Mezcla: 0-1000 minutos
- S/L: 0,02
- [Cu+2] : 0,7 gr/Lt.
- RPM: 525
- Temperatura de Tostación de Dolomita: 400°C, 600°C, 800°C, 1000°C, 1200°C

Siendo la Variable de Operación a evaluar, la Temperatura de Tostación de la dolomita. Se observa que a menor temperatura de tostación de Dolomita, se presenta mayor cinética de remediación del efluente metalúrgico con la dolomita.

En la Figura N° 76, se empleo la Simulación de los Datos Experimentales de las Variables de Operación que intervienen en el Cinética Química del Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos de Flotación de Minerales Sulfurados de Cobre y la Lixiviación de Minerales Oxidados de Cobre.

Cabe resaltar que las Variables de Operación que se emplearon tenemos:

- Tamaño de Partícula: 70 μ
- Tiempo de Agitación de la Mezcla: 0-1000 minutos
- S/L: 0,04
- RPM: 525
- Temperatura de Tostación de Dolomita: 700°C

Siendo la Variable de Operación a evaluar, la Concentración de Cobre, es decir para evaluar la influencia de la variable de operación del [Cu+2] .

Cuando [Cu+2] = 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 gr/Lt.

Se observa que a cuando menor es la concentración de cobre, mayor será la cinética de remediación del efluente metalúrgico con la dolomita.

En la Figura N° 77, se empleo la Simulación de los Datos Experimentales de las Variables de Operación que intervienen en el Cinética Química del Tratamiento de

Remediación de Efluentes Metalúrgicos de Flotación de Minerales Sulfurados de Cobre y la Lixiviación de Minerales Oxidados de Cobre.

Cabe resaltar que las Variables de Operación que se emplearon tenemos:

- Tamaño de Partícula: 70 μ
- Tiempo de Agitación de la Mezcla: 0-1000 minutos
- [Cu+2] : 0,7 gr/Lt.
- Temperatura de Tostación de Dolomita: 700°C,
- RPM: 50
- S/L: 0.01, 0.02, 0.03, 0.04

Siendo la Variable de Operación a evaluar, la Relación Sólido-Líquido empleada en el tratamiento. Se observa que a menor valor de la proporción de la Relación Sólido-Líquido, se presenta mayor cinética de remediación del efluente metalúrgico con la dolomita.

En la Figura N° 78, se empleo la Simulación de los Datos Experimentales de las Variables de Operación que intervienen en el Cinética Química del Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos de Flotación de Minerales Sulfurados de Cobre y la Lixiviación de Minerales Oxidados de Cobre.

Cabe resaltar que las Variables de Operación que se emplearon tenemos:

- Tamaño de Partícula: 70 μ
- Tiempo de Agitación de la Mezcla: 0-1000 minutos
- S/L: 0,02
- [Cu+2] : 0,7 gr/Lt.
- Temperatura de Tostación de Dolomita: 400°C,
- RPM: 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600

Siendo la Variable de Operación a evaluar, la Velocidad de Agitación de la dolomita. Se observa que a menor velocidad de agitación de la mezcla (RPM), se presenta mayor cinética de remediación del efluente metalúrgico con la dolomita.

CAPITULO XI

CONCLUSIONES

- La dolomita funciona como adsorbente de cobre y otros iones generadores de acidez en Efluentes Metalúrgicos de Flotación y de Lixiviación.
- Las Pruebas experimentales del Tratamiento de Remediación se basaron en el fundamento de la cinética de reacción de primer orden de regresión polinómica, empleando la Dolomita Natural de Tingo María y Dolomita Comercial de Agregados Calcáreos en estado sin calcinar y dolomita en estado calcinado.
- Las Pruebas experimentales del Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos emplearon dos tipos de dolomita: Dolomita Natural de Tingo María y Dolomita Comercial de Agregados Calcáreos, cada una de las cuales posee diferente tamaño de partícula.

La dolomita Natural de Tingo María posee un tamaño de partícula de 74 micrones, mientras que la dolomita comercial de agregados calcáreos posee un tamaño de partícula de 44 micrones.

El tamaño de partícula de cada una de las dolomitas es una variable independiente de operación, puesto que interviene de manera directa en el Tratamiento de Remediación de los Efluentes Metalúrgicos empleados.

- Las Pruebas experimentales del Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos emplearon dos tipos de dolomita: Dolomita Natural de Tingo María y Dolomita Comercial de Agregados Calcáreos, las cuales fueron empleadas en estado sin calcinar y estado calcinado a las temperaturas de tostación de 500°C, 600°C, 700°C, 800°C, 900°C y 1000°C. Siendo las temperaturas óptimas de tostación las de 700°C y 1000°C, puesto que los efluentes metalúrgicos tratados con dolomitas calcinadas a estas temperaturas lograron mayor porcentaje de reducción de cobre, en valores en

el rango de 94.5-97.39%.

- Las Pruebas experimentales del Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos emplearon Efluentes Metalúrgicos de 2 tipos:

“EFLUENTE METALÚRGICO DE LA UNI”, el cual provino del Proceso Metalúrgico de Flotación de la Planta Concentradora de la UNI.

“EFLUENTE METALÚRGICO DE LA UNMSM”, el cual es un Efluente Metalúrgico de Solución de Sulfato de Cobre que fue generado a nivel Laboratorio por la Lixiviación del Mineral Tostado de Calcopirita.

El **“EFLUENTE METALÚRGICO DE LA UNI”**, presenta un mayor porcentaje de reducción de cobre, con un valor de 97.39%, en comparación con el **“EFLUENTE METALÚRGICO DE LA UNMSM”**, que presenta un porcentaje de reducción de cobre, con un valor de 95%.

- El **“EFLUENTE METALÚRGICO DE LA UNI”**, que fue tratado con 2 gr. de Dolomita Natural de Tingo María, en estado calcinado a 1000°C, presenta porcentaje de reducción de cobre, con un valor de 94.5%.
- El **“EFLUENTE METALÚRGICO DE LA UNI”**, que fue tratado con 2 gr. de dolomita comercial de agregados calcáreos en estado sin calcinar, presenta mayor porcentaje de reducción de cobre, con un valor de 97.39%.
- El **“EFLUENTE METALÚRGICO DE LA UNMSM”**, que se caracteriza por ser un Efluente Metalúrgico de Lixiviación, presento concentraciones iniciales de solución de sulfato de cobre de 1.28 gr/Lt y 3.6 gr/Lt, las cuales fueron diluídas a valores de concentración de cobre 1 gr/Lt y 0.5 gr/Lt, para poder ser sometidas a Tratamiento de Remediación con Dolomita Comercial de Agregados Calcáreos en estado calcinado de 700°C y 1000°C.

El **“EFLUENTE METALÚRGICO DE LA UNMSM”**, que presenta concentraciones iniciales de solución de sulfato de cobre de 1.28 gr/Lt y

fue diluído a 1 gr/Lt fue tratado con 2 gr. de dolomita comercial calcinada a 700°C con un porcentaje de reducción de cobre de 94.85%.

EI “EFLUENTE METALÚRGICO DE LA UNMSM”, que presenta concentraciones iniciales de solución de sulfato de cobre de 1.28 gr/Lt y fue diluído a 0.5 gr/Lt fue tratado con 2 gr. de dolomita comercial calcinada a 700°C con un porcentaje de reducción de cobre de 95%.

EI “EFLUENTE METALÚRGICO DE LA UNMSM”, que presenta concentraciones iniciales de solución de sulfato de cobre de 3.6 gr/Lt y fue diluído a 1 gr/Lt fue tratado con 2 gr. de dolomita comercial calcinada a 1000°C con un porcentaje de reducción de cobre de 52%.

EI “EFLUENTE METALÚRGICO DE LA UNMSM”, que presenta concentraciones iniciales de solución de sulfato de cobre de 1.28 gr/Lt y fue diluído a 0.5 gr/Lt fue tratado con 2 gr. de dolomita comercial calcinada a 1000°C con un porcentaje de reducción de cobre de 73.43 %.

EI “EFLUENTE METALÚRGICO DE LA UNMSM”, que presenta concentraciones iniciales de solución de sulfato de cobre de 1.28 gr/Lt y 3.6 gr/Lt fue diluído a 1 gr/Lt y fue tratado con 2 gr. de dolomita comercial calcinada a 700°C y 1000°C, respectivamente con un porcentaje de reducción de cobre de 94.85% y 52%.

EI “EFLUENTE METALÚRGICO DE LA UNMSM”, que presenta concentraciones iniciales de solución de sulfato de cobre de 1.28 gr/Lt y 3.6 gr/Lt fueron diluídas a 0.5 gr/Lt y fue tratado con 2 gr. de dolomita comercial calcinada a 700°C y 1000°C, respectivamente con un porcentaje de reducción de cobre de 95% y 73.43%.

- Se determino que el peso de dolomita a emplear para una mayor eficiencia en la adsorción del cobre es el valor de 2 gramos, siendo el valor óptimo de la relación de S/L de 2/100.

- Se determino que el valor óptimo de la velocidad de agitación de la mezcla, RPM, es de 525, cuando se emplea dolomita comercial de agregados calcáreos.
- Las Pruebas experimentales del Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos se basaron en el fundamento de la cinética de reacción de primer orden de regresión polinómica, empleando dos tipos de dolomita: Dolomita Natural de Tingo María y Dolomita Comercial de Agregados Calcáreos.
- La Cinética de Adsorción de cobre con 2 gramos de Dolomita Comercial de Agregados Calcáreos Sin Calcinar, para el tratamiento de un volumen de 100 ml de efluente metalúrgico de flotación demuestra que conforme aumente el tiempo de agitación en contacto de la dolomita con el efluente, mayor será la adsorción de cobre con la dolomita, siendo el tiempo óptimo de 20 minutos, tiempo en el cual se presenta mayor porcentaje de reducción de cobre, 97.39%.
- La Cinética de Adsorción de cobre con 2 gramos de Dolomita Natural de Tingo María Calcinada a 1000°C, para el tratamiento de un volumen de 100 ml de Efluente Metalúrgico de Flotación demuestra que conforme aumente el tiempo de agitación en contacto de la dolomita con el efluente, mayor será la adsorción de cobre con la dolomita, siendo el tiempo óptimo de 10 minutos, tiempo en el cual se presenta mayor porcentaje de reducción de cobre, 94.5%.
- Los resultados demuestran que las curvas de Cinética de Adsorción de Cobre en Sistema de Lixiviación de Pellets Tostados de Calcopirita, son más eficientes cuando la dolomita empleada es dolomita de agregados calcáreos y esta tostada a 1000°C, lo cual involucra mayor reducción de iones cobre y por lo tanto mayor adsorción de cobre en el sistema empleado.
- Los resultados de la presente Tesis nos permite afirmar que el peso óptimo de la Dolomita Comercial de Agregados Calcáreos es de 2 gr. en estado sin

calcinar donde se determino que para un volumen de efluente metalúrgico de flotación de 100ml, la concentración inicial de 0,269 gr/Lt (269 ppm) se redujo hasta el valor de 0,007 gr/Lt (7 ppm), con un porcentaje de reducción de 98%., en un tiempo óptimo de 20 minutos. Se empleo una dilución S/L es de 2/100 y se aplico una velocidad de agitación de la mezcla (dolomita y efluente metalúrgico) de 700 RPM.

- El peso óptimo de la dolomita Natural de Tingo María es de 2 gr. en estado calcinado a 1000°C donde se determino que para un volumen de efluente metalúrgico de flotación de 100ml, la concentración inicial de 0,561 gr/Lt (561 ppm) se redujo hasta el valor de 0,031 gr/Lt (31 ppm), con un porcentaje de reducción de 94,5%, en un tiempo óptimo de 10 minutos, cabe resaltar que la dilución S/L es de 2/100 y una velocidad de agitación de la mezcla (dolomita y efluente metalúrgico) de 525 RPM.
- En el Caso de Efluente Metalúrgico de Solución de Sulfato de Cobre con Concentración Inicial de cobre de 1.28 gr/Lt, y una Concentración diluida de solución de sulfato de 1 gr/Lt de cobre, se afirma que el peso óptimo de la Dolomita Comercial de Agregados Calcáreos es de 2 gr. en estado calcinado a la temperatura de 700°C, donde se determino que para un volumen de efluente metalúrgico de solución de sulfato de cobre de 100ml, la concentración inicial es de 1,185 gr/Lt (1185 ppm) se redujo hasta el valor de 0,061 gr/Lt (61 ppm), con un porcentaje de reducción de 94.85 %, en un tiempo óptimo de 30 minutos.

Cabe resaltar que la dilución S/L es de 2/100 y una velocidad de agitación de la mezcla (dolomita y efluente metalúrgico) y se aplicó una velocidad de agitación de la mezcla (dolomita y efluente metalúrgico) de 700 RPM.

- El Efluente Metalúrgico de Solución de Sulfato de Cobre con Concentración Inicial de cobre de 1.28 gr/Lt, y una Concentración diluida de solución de sulfato de 0.5 gr/Lt de cobre, se afirma que el peso óptimo de la Dolomita Comercial de Agregados Calcáreos es de 2 gr. en estado calcinado a la temperatura de 700°C, donde se determino que para un volumen de

efluente metalúrgico de solución de sulfato de cobre de 100ml, la concentración inicial es de 0,521 gr/Lt (521 ppm) se redujo hasta el valor de 0,026 gr/Lt (26 ppm), con un porcentaje de reducción de 95 %, en un tiempo óptimo de 20 minutos. Cabe resaltar que la dilución S/L es de 2/100 y una velocidad de agitación de la mezcla (dolomita y efluente metalúrgico) y se aplicó una velocidad de agitación de la mezcla (dolomita y efluente metalúrgico) de 700 RPM.

- En el Caso de Efluente Metalúrgico de Solución de Sulfato de Cobre con concentración inicial de cobre es de 3.6 gr/Lt, y una concentración diluída de solución de sulfato de cobre de 1 gr/Lt, se afirma que el peso óptimo de la Dolomita Comercial de Agregados Calcáreos es de 2 gr. en estado calcinado a la temperatura de 1000°C, donde se determino que para un volumen de efluente metalúrgico de solución de sulfato de cobre de 100ml, la concentración inicial es de 1,400 gr/Lt (1400 ppm) se redujo hasta el valor de 0,672 gr/Lt (672 ppm), con un porcentaje de reducción de 52%, en un tiempo óptimo de 30 minutos. Cabe resaltar que la dilución S/L es de 2/100 y una velocidad de agitación de la mezcla (dolomita y efluente metalúrgico) y se aplicó una velocidad de agitación de la mezcla (dolomita y efluente metalúrgico) de 700 RPM.
- En el Caso de Efluente Metalúrgico de Solución de Sulfato de Cobre con concentración inicial de cobre es de 3.6 gr/Lt, y una concentración diluída de solución de sulfato de cobre de 0.5 gr/Lt, se afirma que el peso óptimo de la Dolomita Comercial de Agregados Calcáreos es de 2 gr. en estado calcinado a la temperatura de 1000°C donde se determinó que para un volumen de efluente metalúrgico de solución de sulfato de cobre de 100ml, la concentración inicial es de 0,813 gr/Lt (813 ppm) se redujo hasta el valor de 0,216 gr/Lt (216 ppm), con un porcentaje de reducción de 73.43 %, en un tiempo óptimo de 30 minutos. Se empleo una dilución S/L de 2/100 y se aplicó una velocidad de agitación de la mezcla (dolomita y efluente metalúrgico) de 700 RPM.
- En la Interpretación de Datos de Análisis Químico ICP Final de Efluente

Metalúrgico de Flotación, se tienen los siguientes resultados:

- Para el Caso de Efluente Metalúrgico de Flotación tratado con dolomita de Agregados Calcáreos Calcinado a 1000°C, se obtuvo un mayor porcentaje de reducción de cobre, cuyo valor fue de 99.18%, partiéndose de una concentración inicial de cobre de 30 ppm, luego de tratado el efluente se llegó a un valor de 0,247 ppm.
- Para el Caso de Efluente Metalúrgico de Flotación tratado con dolomita de Agregados Calcáreos sin calcinar, se obtuvo un mayor porcentaje de reducción de cobre, cuyo valor fue de 83.18%, partiéndose de una concentración inicial de cobre de 30 ppm, luego de tratado el efluente se llegó a un valor de 5,044 ppm.
- Para el Caso de Efluente Metalúrgico de Flotación tratado con dolomita Natural de Tingo María Calcinada a 1000°C, se obtuvo un mayor porcentaje de reducción de cobre, cuyo valor fue de 98.36%, partiéndose de una concentración inicial de cobre de 30 ppm, luego de tratado el efluente se llegó a un valor de 0,492 ppm.
- Las Variables de Operación que intervienen en el Tratamiento de Remediación, son: Tamaño de Partícula de Dolomita, Temperatura de Tostación de la Dolomita, Concentración de Ión Cobre, Relación Sólido/Líquido, RPM y Tiempo.
- Una forma de Sistematizar la influencia de cada una de las variables que intervienen en el Tratamiento de Remediación es a través de una Ecuación General que represente un Modelo Matemático, el cual será:

Ecuación General: $\ln \alpha = K t$,

$$K = [K_{(\text{Tamaño de Partícula})} * K_T * K_{(\text{Cu}^{+2})} * K_{(\text{S/L})} * K_{(\text{RPM})}] * t$$

$$\ln \alpha = 19.53358078 * (d)^{-3,4465} * (RPM)^{-1,0116} * (S/L)^{-1,7549} * (Cu^{+2})^{-3,7345} * [8.154997255 - (12178,28697)] * T / (T+273.1)$$

CAPITULO XII

RECOMENDACIONES

- Se recomienda en la presente Tesis, que de acuerdo a los resultados de esta investigación se recomienda utilizar la dolomita en lugar de cal por su mayor porcentaje de eficiencia en cuanto a la reducción de iones metálicos pesados, principalmente ión cobre.
- Se recomienda establecer un Modelo de Simulación de Remediación de Efluentes Metalúrgicos para reducir iones de metales pesados tales como: arsénico, plomo, zinc, teniendo como base la Metodología de Investigación empleada en la presente Tesis.

CAPITULO XIII

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Biswas, A.K., Davenport W.G.- “El Cobre -Metalurgia Extractiva”
2. F. Lippmann, “Sedimentary Carbonate Minerals”, Nueva Cork 1973.
3. O'Driscoll, M., “Dolomite, More Than Crushed Stone”.
4. Dr. Anani Ali, Consultant Industrial of the Centre for Investment Studies (CIS) in Amman, Jordan, “ Applications of Dolomite”, Octubre de 1984.
5. Lovera D., “Evaluación Integral de Operaciones y Procesos Metalúrgicos con Tecnología Limpia para la Pequeña Minería II”, 2005
6. Dow Ch. Co, “Fundamentos de Flotación de Minerales”
7. Villas Boas, Sánchez Mario, “Tecnologías Limpias En las Industrias Extractivas Minero-Metalúrgica y Petrolera”, Diciembre 2006.
8. Perry, J. “Manual del Ingeniero Químico, Tomo I”
9. <http://es.wikipedia.org/wiki/Remediaci%C3%B3n>
10. Tumialán, P. H. “Compendio de Yacimientos Minerales del Perú”. Boletín N° 10 de la Serie B del INGEMMET.
11. Ministerio De Energía y Minas, Dirección General de Asuntos Ambientales (1997). Guía para el Cierre y abandono de Minas.
12. Ministerio De Energía y Minas, Dirección General de Asuntos Ambientales. Guía para el manejo de relaves de minas y concentrados. Volumen VII-Subsector Minería.
13. Aduvire, O. y Aduvire, H. 2005. Aguas ácidas de Mina, Revista GEOPRES 141. Madrid (España). 52-62

CAPITULO XIV

ANEXOS:

ANEXO 1:
MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	JUSTIFICACIÓN	VARIABLES
<p>PRINCIPAL</p> <p>¿El empleo de la dolomita, influye en la reducción de la concentración del ión de cobre en efluentes metalúrgicos provenientes de plantas de flotación y lixiviación?.</p>	<p>GENERAL:</p> <p>Demostrar que la dolomita posee propiedades fisicoquímicas óptimas para el Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos con el Método que proponemos en esta investigación, principalmente para los efluentes metalúrgicos provenientes de la flotación de minerales polimetálicos.</p>	<p>GENERAL:</p> <p>La dolomita posee propiedades fisicoquímicas que remedian los efluentes Metalúrgicos provenientes del Proceso de Flotación y Lixiviación, aplicando un proceso Técnico adecuado</p>	<p>“El tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos con énfasis en el abatimiento de cobre con dolomita”, es un Tratamiento de Tecnología de Limpieza que busca es una alternativa de solución que constituya un eficaz Método de Remediación de Efluentes Metalúrgicos basado en el empleo de la dolomita sin calcinar y calcinada , que permita reducir las concentraciones del ión cobre presente en los Efluentes de Procesos Metalúrgicos hasta los niveles de los límites máximos permisibles, los cuales son indicadores de una mejora en la calidad de agua de los ríos que se ve afectada por el vertimiento de aguas de desechos industriales provenientes principalmente de procesos metalúrgicos de plantas concentradoras de la actividad minera formal e informal.</p>	

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	JUSTIFICACIÓN	VARIABLES
	<p>ESPECÍFICO 1</p> <p>Establecer los parámetros de empleo de dolomita (estado calcinado y/o sin calcinar), para la reducción de la concentración del ión metálico de cobre, con pruebas experimentales del tratamiento de remediación de los efluentes metalúrgicos provenientes de la flotación y lixiviación de minerales sulfurados y oxidados de cobre, respectivamente.</p>	<p>ESPECÍFICA 1:</p> <p>Los parámetros fisicoquímicos de la dolomita, influyen directamente en la reducción del ión cobre de los efluentes metalúrgicos, provenientes del tratamiento metalúrgico de flotación y lixiviación.</p>		<p>INDEPENDIENTES DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Concentración de Cobre presente en el Efluente Metalúrgico. -Condición de empleo de la Dolomita (calcinada ó sin calcinar). -Tiempo de Agitación del Efluente mezclado con la dolomita. <p>DEPENDIENTES DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de la concentración de cobre obtenido (gr/lt) a partir de tratamiento con dolomita

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	JUSTIFICACIÓN	VARIABLES
	<p>ESPECÍFICO 2:</p> <p>Determinar a nivel de laboratorio, las condiciones óptimas de operación de las variables independientes tales como: tamaño de partícula, temperatura de tostación de la dolomita, concentración inicial de cobre, relación sólido-líquido, velocidad de agitación de la mezcla y tiempo de agitación de la dolomita con el efluente metalúrgico; las cuales intervienen durante las pruebas experimentales del tratamiento de remediación del efluente metalúrgico, con la finalidad de lograr la reducción de la concentración de ión metálico de cobre disuelto en los efluentes metalúrgicos para llevarlo hasta los valores cercanos al de los valores de los Niveles Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos para las Actividades Minero-Metalúrgicas.</p>	<p>ESPECÍFICA 2:</p> <p>Las condiciones óptimas de empleo de la dolomita para remediar el efluente metalúrgico que logre reducir la concentración del ión metálico de cobre se logra a través del establecimiento de las principales variables Independientes y dependientes que Influyen de manera directa en el Tratamiento de Remediación de los Efluentes Metalúrgicos provenientes de los Tratamientos Metalúrgicos de Flotación y Lixiviación</p>		<p>INDEPENDIENTES DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Concentración de cobre presente en el efluente metalúrgico. -Condición de empleo de la dolomita (calcinada ó sin calcinar). -Peso de la dolomita. -Tiempo de agitación del efluente mezclado con la dolomita. -Temperatura de tostación de la dolomita. <p>DEPENDIENTES DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Concentración de Cobre obtenido (gr/Lt) a partir de Tratamiento con dolomita.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	JUSTIFICACIÓN	VARIABLES
	<p>ESPECIFICO 3:</p> <p>- Establecer el estado de empleo y la dosificación óptima de la cantidad necesaria de dolomita a emplear para lograr reducir la concentración de ión metálico de cobre hasta valores muy cercanos al de los Niveles Máximos Permisibles de Emisión para las Unidades Minero-Metalúrgicas (1 ppm) que exige el Ministerio de Energía y Minas según Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM.</p>	<p>ESPECIFICA 3:</p> <p>-El empleo en una cantidad necesaria de dolomita a emplear para el Tratamiento de Remediación de los Efluentes Metalúrgicos provenientes de los Procesos de Flotación y Lixiviación, logra reducir la concentración de cobre (1 ppm) en porcentajes de relevancia según la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VNM del Ministerio de Energía y Minas que decreta los Niveles Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos para las Actividades Minero-Metalúrgicas.</p>		

ANEXO 2:

**ANÁLISIS QUIMICO DE MUESTRAS DE
DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA Y
ANÁLISIS QUÍMICO INICIAL DE EFLUENTE
METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA
CONCENTRADORA DE LA UNI Y TRATADO CON
DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA Y
DOLOMITA COMERCIAL DE AGREGADOS
CALCÁREOS**

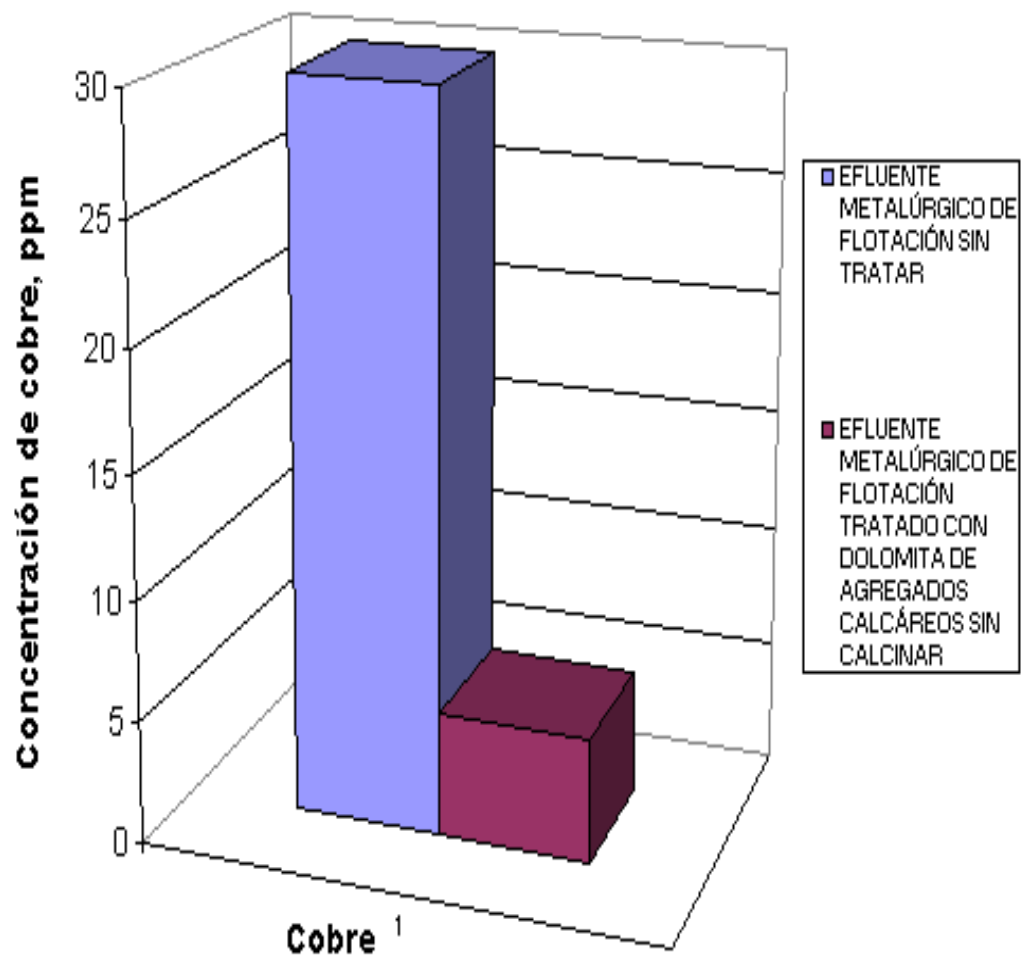
ANEXO 3:

INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNI

COBRE:

EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN INICIAL SIN TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN	EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN TRATADO CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS SIN CALCINAR	COBRE
Concentración de Cu Inicial , ppm	Concentración de Cu Final, ppm	% Reducción
30	5,044	83,187

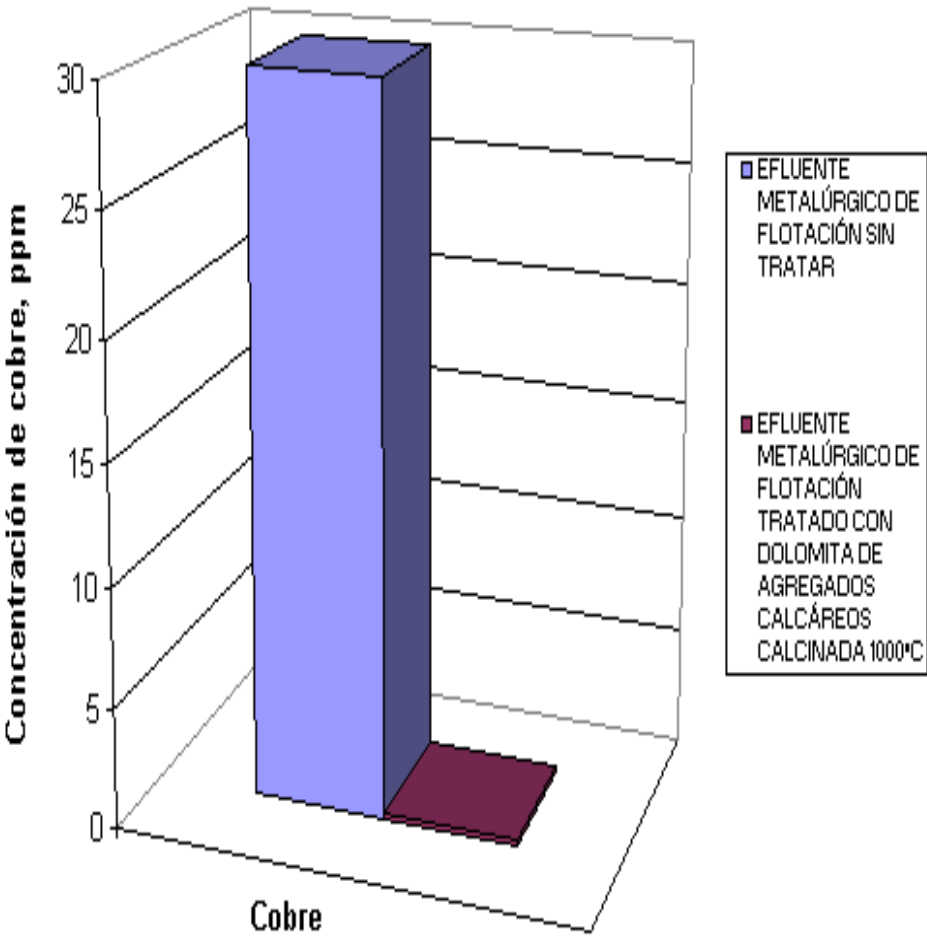
TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS SIN CALCINAR Y SU EFECTO EN LA REDUCCIÓN DE IÓN COBRE



COBRE:

EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN INICIAL SIN TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN	EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN TRATADO CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA	COBRE
Concentración de Cu Inicial , ppm	Concentración de Cu Final, ppm	% Reducción
30	0,247	99,18

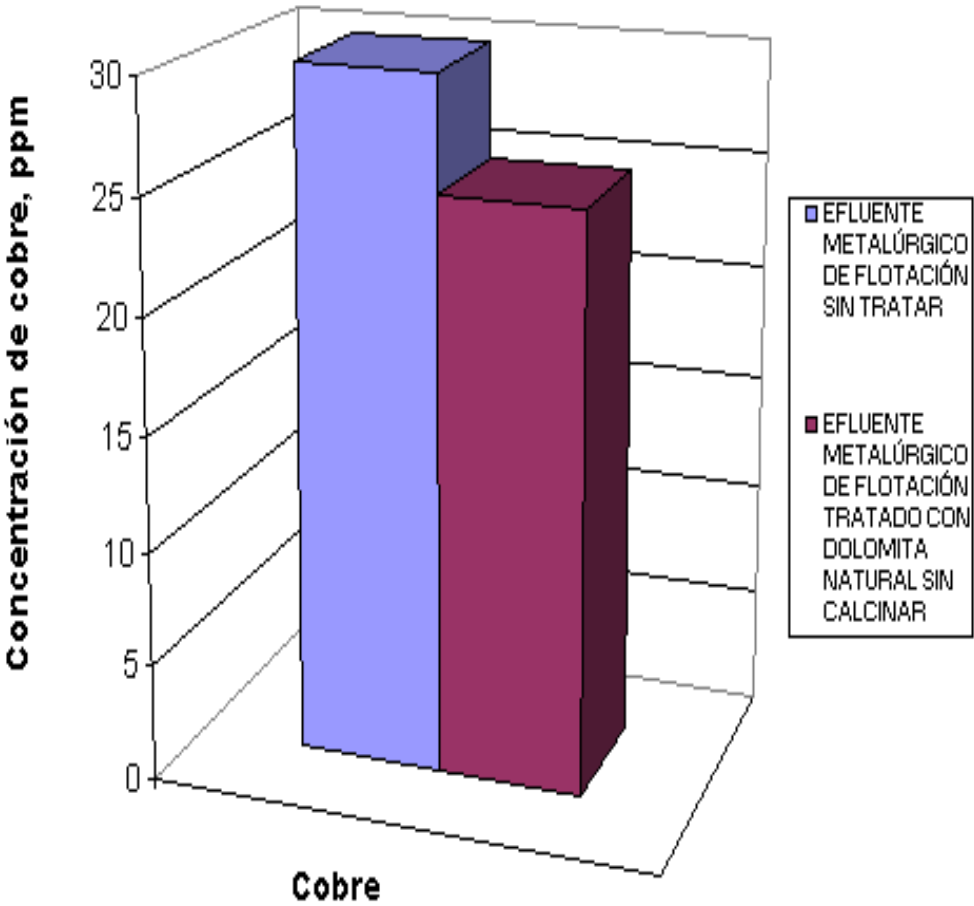
TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA A 1000°C Y SU EFECTO EN LA REDUCCIÓN DE IÓN COBRE



COBRE:

EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN INICIAL SIN TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN	EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN TRATADO CON DOLOMITA NATURAL SIN CALCINAR	COBRE
Concentración de Cu Inicial , ppm	Concentración de Cu Final, ppm	% Reducción
30	25	16,67

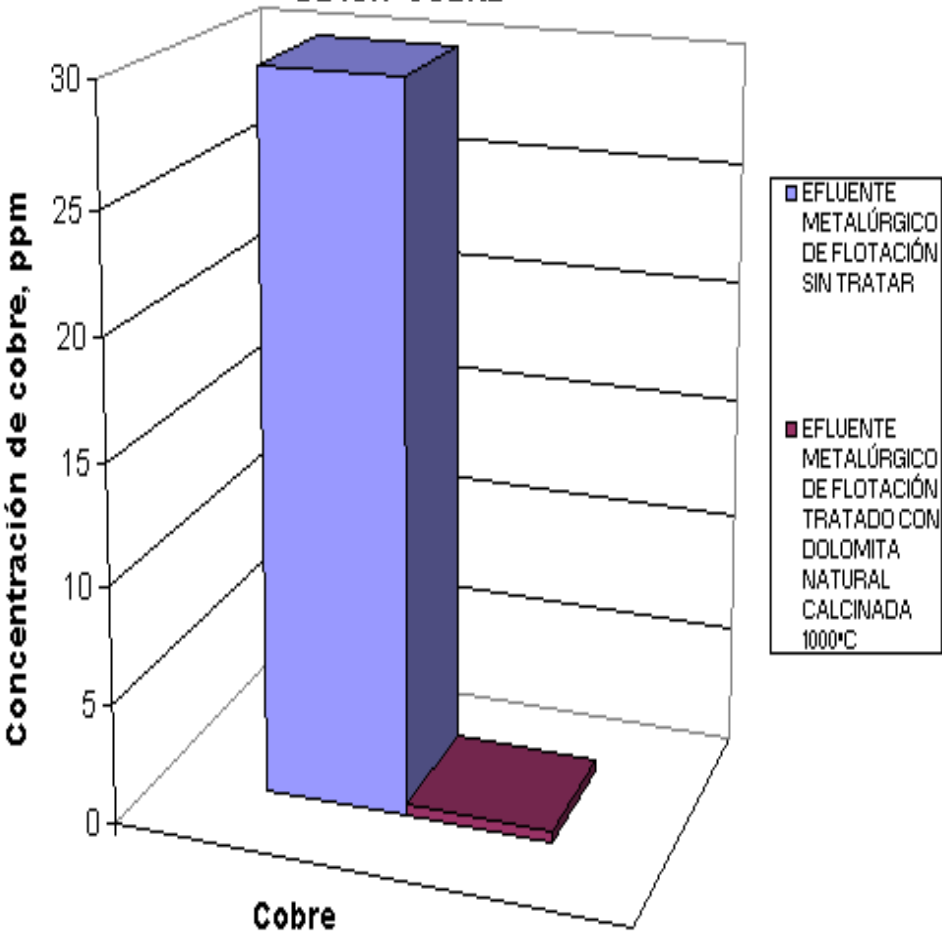
TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN CON DOLOMITA NATURAL SIN CALCINAR Y SU EFECTO EN LA REDUCCIÓN DE IÓN COBRE



COBRE:

EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN INICIAL SIN TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN	EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN TRATADO CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA	COBRE
Concentración de Cu Inicial , ppm	Concentración de Cu Final, ppm	% Reducción
30	0,492	98,360

TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA A 1000°C Y SU EFECTO EN LA REDUCCIÓN DE IÓN COBRE

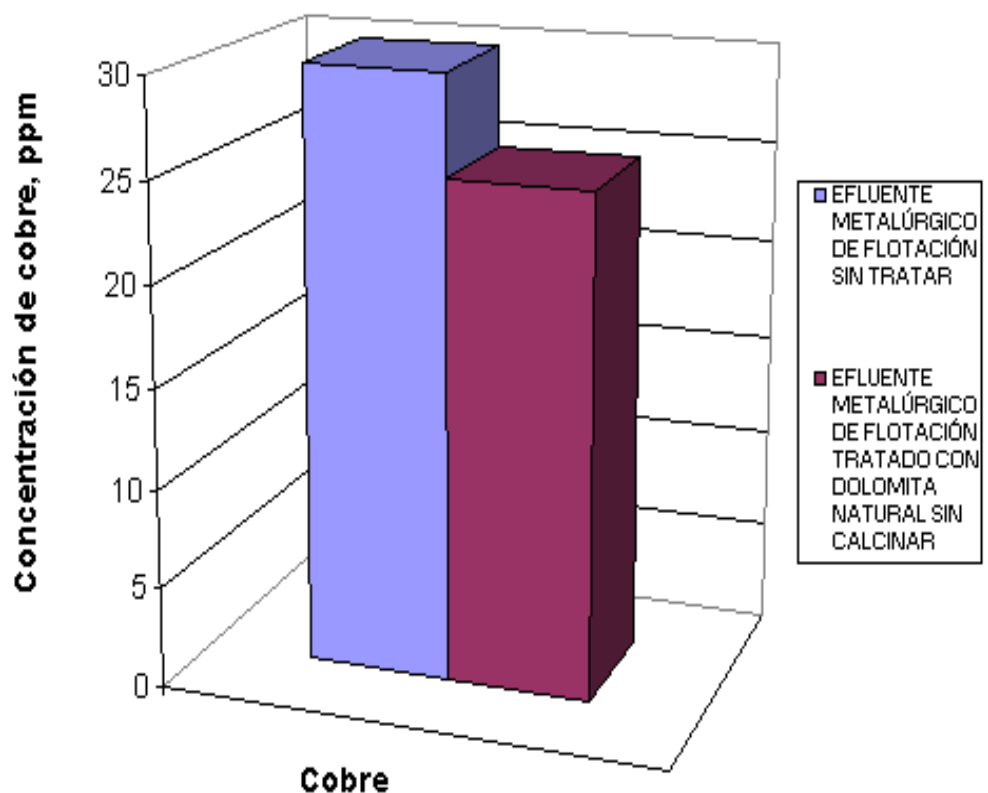


COBRE:

EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN INICIAL SIN TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN	EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN TRATADO CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS SIN CALCINAR	COBRE
Concentración de Cu Inicial , ppm	Concentración de Cu Final, ppm	% Reducción
30	5,044	83,187

EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN INICIAL SIN TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN	EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN TRATADO CON DOLOMITA NATURAL SIN CALCINAR	COBRE
Concentración de Cu Inicial , ppm	Concentración de Cu Final, ppm	% Reducción
30	25	16,67

TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN CON DOLOMITA NATURAL SIN CALCINAR Y SU EFECTO EN LA REDUCCIÓN DE IÓN COBRE

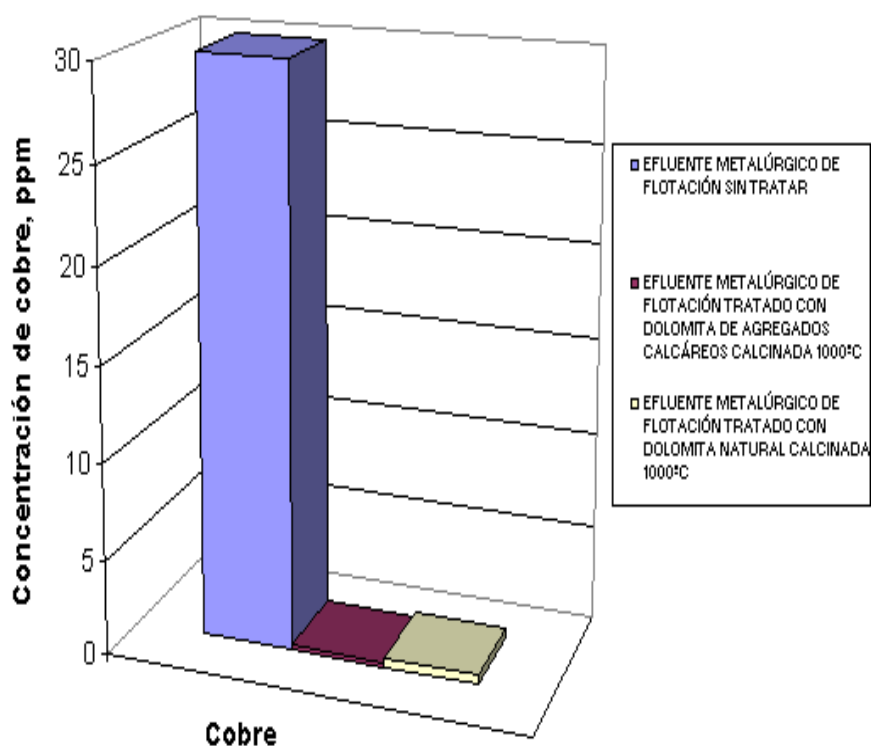


COBRE:

EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN INICIAL SIN TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN	EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN TRATADO CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS CALCINADA	COBRE
Concentración de Cu Inicial , ppm	Concentración de Cu Final, ppm	% Reducción
30	0,247	99,18

EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN INICIAL SIN TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN	EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN TRATADO CON DOLOMITA NATURAL CALCINADA	COBRE
Concentración de Cu Inicial , ppm	Concentración de Cu Final, ppm	% Reducción
30	0,492	98,360

TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN CON DOLOMITA DE AGREGADOS CALCÁREOS Y DOLOMITA NATURAL CALCINADA A 1000°C Y SU EFECTO EN LA REDUCCIÓN DE IÓN COBRE



ANEXO 4:

FOTOS DE PLANTA CONCENTRADORA DE FLOTACIÓN DE LA UNI

**VISTA SUPERIOR DE LA PLANTA METALÚRGICA DE
FLOTACIÓN DE LA UNI**



**DEPÓSITO DE CONCENTRADOS POLIMETÁLICOS DE
FLOTACIÓN**



ENTRADA DE PLANTA CONCENTRADORA DE FLOTACIÓN DE LA UNI



VISTA LATERAL DE PLANTA CONCENTRADORA DE FLOTACIÓN DE LA UNI



ANEXO 5:

FOTOS DE TESIS DE TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN DE EFLUENTES METALÚRGICOS CON ÉNFASIS EN EL ABATIMIENTO DE COBRE CON DOLOMITA

**AGITACIÓN DE LA MEZCLA DE DOLOMITA NATURAL CON
EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN**



**VASO DE PRECIPITADO CONTENIENDO MEZCLA DE
AGITACIÓN DE LA DOLOMITA NATURAL DE TINGO MARÍA
CON EFLUENTE METALÚRGICO DE FLOTACIÓN**



**BOTELLAS CON SOLUCIONES FILTRADAS DEL
TRATAMIENTO DE REMEDIACIÓN CON DOLOMITA SIN
TOSTAR Y TOSTADA A DIFERENTES TEMPERATURAS: 800°C,
900°C Y 1000°C**

